

# **Entwicklung und Umsetzung eines Kennzahlensystems zur Leistungsmessung im Karosseriebau**

Der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden

zur

Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktoringenieurs (Dr.-Ing.)**

vorgelegte Dissertation

von

Dipl.-Ing. André Robert Richter  
aus Genf

Betreuender Hochschullehrer: Prof. Dr.-Ing. habil. R. Koch

Tag der Einreichung: 30. November 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Problemfeldabgrenzung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Problemfeldabgrenzung</b>	<b>1</b>
1.1.1	Besonderheiten des Karosseriebaus im Produktentstehungsprozess .....	3
1.1.2	Einsatz virtueller Tools im Planungsprozess .....	15
1.1.3	Leistungsmessung im Fahrzeugbau .....	24
<b>1.2</b>	<b>Handlungsbedarf, Zielsetzungen und Vorgehensweise</b>	<b>35</b>
<b>2</b>	<b>Prozessmodellierung und Kennzahlensystem</b>	<b>42</b>
<b>2.1</b>	<b>Integriertes Informationssystem für den Karosseriebau</b>	<b>42</b>
<b>2.2</b>	<b>Kennzahlensystem zur Leistungsmessung</b>	<b>52</b>
2.2.1	Leistungsmessung im Regelkreis .....	53
2.2.2	Aufbau des Kennzahlensystems.....	55
2.2.3	Finanzperspektive.....	62
2.2.4	Prozessperspektive .....	66
2.2.5	Potentialperspektive .....	73
<b>3</b>	<b>Nutzung des Kennzahlensystems zur Leistungsmessung</b>	<b>86</b>
<b>3.1</b>	<b>Praxisüberleitung: Leistungsmessung in der Entwicklungsplanung</b>	<b>86</b>
3.1.1	Kennzahlenbedarf und Datenverfügbarkeit .....	86
3.1.2	Visualisierung der Leistungssituation.....	91
<b>3.2</b>	<b>Erfahrungen aus der Nutzung des Leistungsmesssystems</b>	<b>99</b>
3.2.1	Variantenbewertung.....	101
3.2.2	Schwachstellenanalyse .....	104
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Fortführungsempfehlung</b>	<b>111</b>
<b>5</b>	<b>Anlagenverzeichnis</b>	<b>114</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>148</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>159</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>161</b>

## Abkürzungsverzeichnis

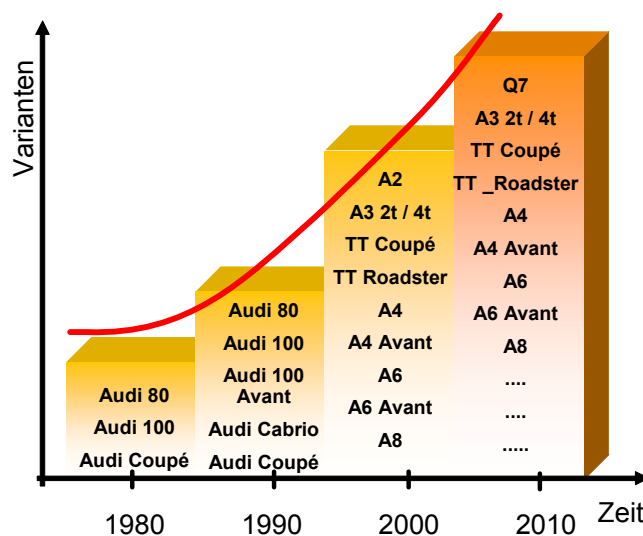
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
AWF	Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung
BIC	best-in-class
BSC	balanced scorecard
CAP	computer aided planning
CAD	computer aided design
CAM	computer aided manufacturing
CAQ	computer aided quality
CIM	computer integrated manufacturing
DLZ	Durchlaufzeit
EDV	elektronische Datenverarbeitung
EFQM	European foundation for quality management
EOP	end of production
Fzg	Fahrzeug
GAE	gesamte Anlageneffektivität
ICAM	integrated computer aided manufacturing
IS	Informationssysteme
IT	Informationstechnologie
PEP	Produktentstehungsprozess
COP	carry over part
OEM	original equipment manufacturer
KVP	kontinuierlicher Verbesserungsprozess
KZS	Kennzahlensystem
LMS	Leistungsmesssystem
OVF	offene virtuelle Fabrik
PE	Prozesselement
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
SE	simultaneous engineering
SEF	strategischer Erfolgsfaktor
SK	Schutzkreis
SOP	start of production
TPS	Toyota-Produktionssystem
TQM	total quality management
UWB	Ursache-Wirkungsbeziehung
UWK	Ursache-Wirkungs-Kette
VDI	Verein deutscher Ingenieure
VGM	Vorgängermodell
Vikab	Virtueller Karosseriebau
WVG	Wiederverwendungsgrad

# 1 Problemfeldabgrenzung und Zielsetzung

## 1.1 Problemfeldabgrenzung

Die Automobilindustrie ist einem fortwährenden Konkurrenzdruck ausgesetzt, der vorrangig eine Verkürzung des Produktentstehungsprozesses sowie kundenindividuelle und umweltfreundliche Produkte erfordert. Dem begegnen die Hersteller unter anderem mit einer Zunahme der Fahrzeugmodelle und einer Verkürzung der Planungszeiträume [Mcki05] (siehe Abbildung 1).

### Zunahme des Produktspektrums



### Abnahme der Planungszeit (Projektentscheid bis SOP)

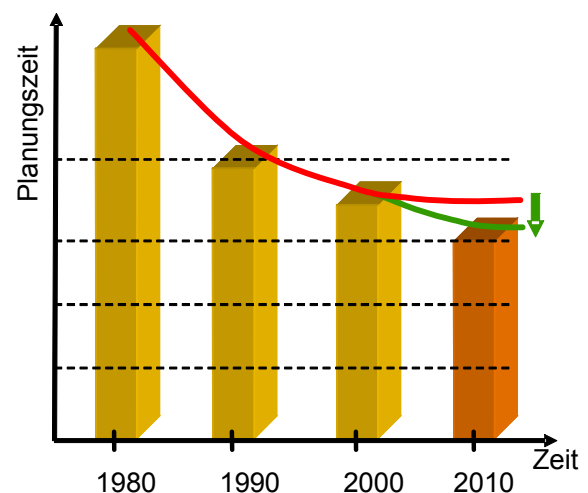


Abbildung 1: Verkürzung des Produktentstehungsprozesses (PEP) bei steigender Variantenzahl [Köni04]

Bestandteil dieser Entwicklung ist die Erhöhung der Planungseffizienz und der Planungsqualität. Um in kürzerer Zeit mehr Projekte planen zu können, müssen insbesondere die Möglichkeiten der virtuellen Techniken der *Digitalen Fabrik* ausgeschöpft werden und die Entwicklung von Leistungsmesssystemen (LMS) über den gesamten Produktentstehungsprozess (PEP) vorangetrieben und wissenschaftlich durchdrungen werden (Abbildung 2).

Die *Digitale Fabrik* stellt eine der Technologien dar, die bei der Planung neuer Fahrzeugprojekte die Planungszeit erheblich reduzieren kann [Schl05]. Dabei erhöht der Rückgriff auf vorhandene Anlagen-Module die Planungsgeschwindigkeit hinsichtlich der Variantenerstellung. Aber auch bei der völligen Neuplanung eines Fahrzeugprojektes verbessert die standardisierte graphische Planung die Planungsqualität in frühen Projektphasen, da das für Bewertungen und Untersuchungen zu Verfügung stehende Modell bereits detailliert und aussagekräftig vorliegt [Schl05].

Die Leistungsmessung eröffnet ebenfalls eine große Menge derzeit unerschlossener Potentiale. Eine strukturierte, durchgängige Messung der Anlagenleistung über den Projektverlauf erleichtert Entscheidungen indem sie zuverlässige und nachvollziehbare Variantenbewertungen unterstützt und systematische Schwachstellenanalysen ermöglicht. So wird die Planungsqualität in der Anfangsphase eines Projekts bedeutend verbessert und somit die Effizienz der Planung erhöht [Glad05].

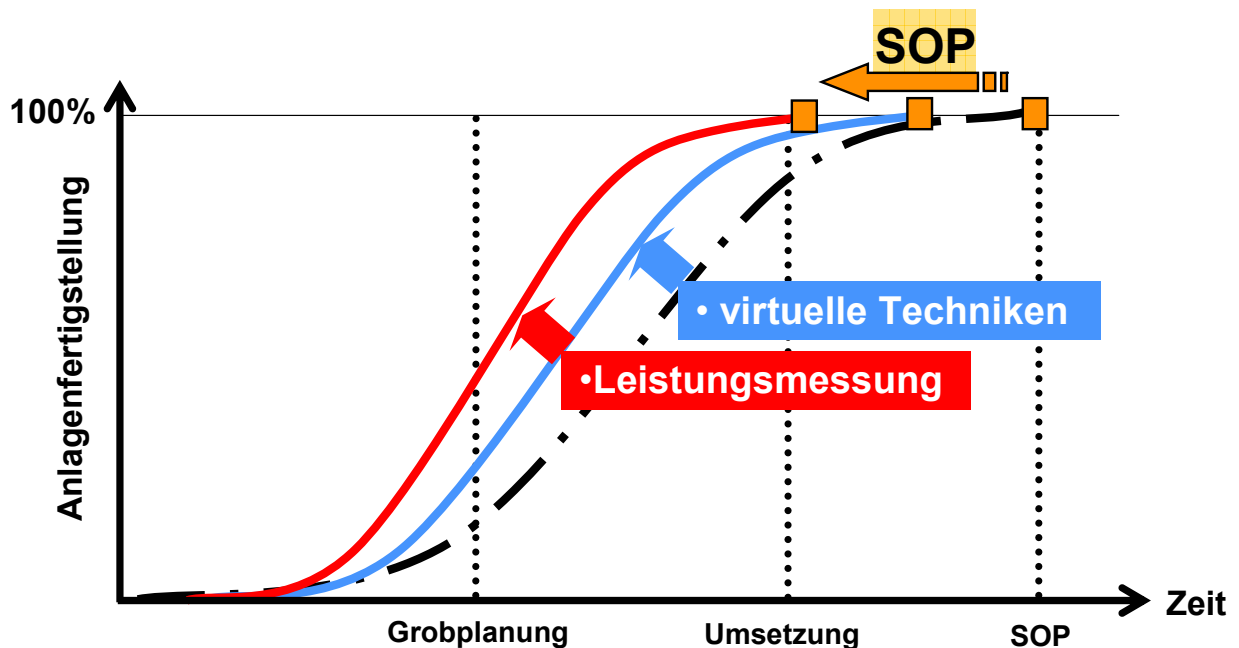


Abbildung 2: Verkürzung des Produktentstehungsprozesses durch den Einsatz der virtuellen Techniken und der Leistungsmessung

Für den Einsatz eines kennzahlenbasierten Leistungsmesssystems in der Planungsphase ist der durchgängige und vernetzte Einsatz der *Digitalen Fabrik* in der Planung und Entwicklung von zentraler Bedeutung. Die große Menge der in einem Leistungsmesssystem zu berücksichtigender Daten würden bei manueller Verarbeitung den Planungsprozess eher verlangsamen. Erst das CAP ermöglicht eine weitgehend automatisierte Kennzahlenberechnung, Kennzahlenverdichtung und den standardisierten Bericht des Projektfortschritts (vgl. [West05]).

In der vorliegenden Arbeit wird durch die Entwicklung eines Kennzahlensystems und einer Methode zur Leistungsmessung in der Planung von Karosseriebauanlagen ein Beitrag zur durchgängigen Leistungsmessung in Planung und Betrieb von Fahrzeugfertigungen geleistet. Dabei wird, aufbauend auf der Verfügbarkeit von Planungsdaten in den Tools der *Digitalen Fabrik*, der Datenbedarf zur Entscheidungsbildung in den einzelnen Phasen der Grobplanung dargestellt. Zur Sicherstellung einer durchgängigen Leistungsmessung während des gesamten Projektverlaufes werden die Schnittstellen zu vor- und nachgelagerten Bereichen der Planung und Fertigung sowie zur Entwicklung berücksichtigt.

Im Folgenden wird die „Grobplanungsphase in der Karosseriebauplanung“ abgegrenzt und aktuelle Herausforderungen und Tendenzen sowie der Stand der Technik in der Leistungsmessung und dem *Virtuellen Karosseriebau* dargestellt. Damit sind nachfolgend die Ableitung des Handlungsbedarfs und des Ziels der Arbeit sowie die Entwicklung der Vorgehensweise möglich.

Die vorliegende Arbeit stellt am Beispiel der Grobplanungsphase für Produktionssysteme im automobilen Karosseriebau die Entwicklung eines Leistungsmesssystems dar. Die gewonnen Erkenntnisse und das methodische Vorgehen können auf weitere Fertigungsbereiche der Automobil-Herstellung übertragen werden. Der Grobplanung vorausgehende Schritte der Produktionsplanung, wie die Vorplanung und nachfolgende Schritte, wie Feinplanung sowie die Durchführungs- und Betriebsphase werden nicht explizit untersucht. Das entwickelte System berücksichtigt aber die Anforderungen angrenzender Planungsschritte um eine Weiterverwendung des Systems über den gesamten Projektverlauf (bis EOP) zu ermöglichen.

### 1.1.1 Besonderheiten des Karosseriebaus im Produktentstehungsprozess

Bei der Produktion von Automobilen mit Stahlkarossen in Schalenbauweise stellt das Presswerk aus angelieferten Coils oder Platinen die Blecheinzelteile für die Fahrzeug-Karosserie her. Die ca. 350 Einzelteile (umgeformte Blechteile ohne Normteile) werden im Karosseriebau zu der Fahrzeugkarosse verbunden. Nach der Abdichtung der Fugen im Unterboden der Karosse durchlaufen diese den Lackierprozess bevor sie in die Montage eingetaktet werden. Im Fertigungsfluss eines Automobils liegt der Karosseriebau also zwischen Presswerk und Lackiererei, wobei sich die wesentlichen Anforderungen der Montage ebenfalls an den Karosseriebau richten.

Beim Fügen einer Karosse wird im heutigen Karosseriebau hauptsächlich auf Metallschutzgasschweißen und Widerstandspunktschweißen gesetzt, in Sonderfällen auch auf Laseranwendungen (Scanner, Laserlöten). Außerdem kommen das Kleben und gekoppelte Fügeverfahren wie das Punktschweißkleben zum Einsatz [Füss03] (siehe Abbildung 3). Die Auswahl der Fügeverfahren erfolgt anhand mehrerer Kriterien: Wirtschaftlichkeit, Automatisierbarkeit, Wärmeeinfluss auf die Bauteile, Prozesszeit, eingesetzte Werkstoffe.



Abbildung 3: Einsatz von Fügeverfahren im Karosseriebau (unter Verwendung von [Köni04])

Bei der Herstellung eines Fahrzeugs nimmt der Karosseriebau eine zentrale Position bezüglich der Qualität des Endprodukts ein. Folgende Qualitätsmerkmale werden im Karosseriebau beeinflusst:

- Oberfläche der Fahrzeugaußenhaut
- Lagetoleranzen der Karosse und somit der zu montierenden Teile
- Festigkeit und Steifigkeit des Fahrzeugs

Aus Sicht des Endkunden werden also zentrale Eigenschaften des Fahrzeugs, wie optisches Erscheinungsbild der Außenhaut, Qualitätsanmutung (Fugenbild, Spaltmaße, Passungen), insbesondere aber auch Crasheigenschaften im Karosseriebau festgelegt.

Darin liegt der Grund, dass die Mehrzahl der Fahrzeughersteller den Karosseriebau als Kernkompetenz betrachtet und daher kaum ein Hersteller die Karosse extern fertigen lässt [Harb06].

Im automobilen Karosseriebau ist die serielle Anordnung der Prozesse am weitesten verbreitet. Sie bietet in der variantenreichen Serienfertigung die Möglichkeit zur Fertigung sehr hoher Stückzahlen [Röhr02]. Diese liegen in der Großseriefertigung von Karossen bei ca. 1000 Einheiten pro Tag, was einer Taktzeit von ca. 60 Sekunden entspricht. Dabei werden die Karossen in Linienfertigung mit Fließprinzip produziert [Wien05].

Bei der Planung eines neuen Fahrzeugprojekts stellt der Karosseriebau den Fertigungsbereich mit dem höchsten Investitionsbedarf dar. Wie auch in anderen

Branchen wird auf eine hohe Automatisierung der Produktion gesetzt um den hohen Lohnkosten in den Industrienationen entgegenzuwirken [Lay01]. Trotzdem stellen die Personalkosten im Karosseriebau immer noch den größten Kostenblock dar (siehe Abbildung 4). Dies liegt zum einen daran, dass sich das Einlegen der Karosserie-Einzelteile in die Spannvorrichtung nur schwer automatisieren lässt und zum anderen daran, dass die technische Betreuung und Instandhaltung der hochautomatisierten Anlagen einen hohen Einsatz qualifizierter Arbeitskräfte erfordert. Abbildung 4 stellt diesen Sachverhalt am Beispiel der Kostenstruktur von vier Fahrzeugen (A-Segment) deutscher Hersteller dar.

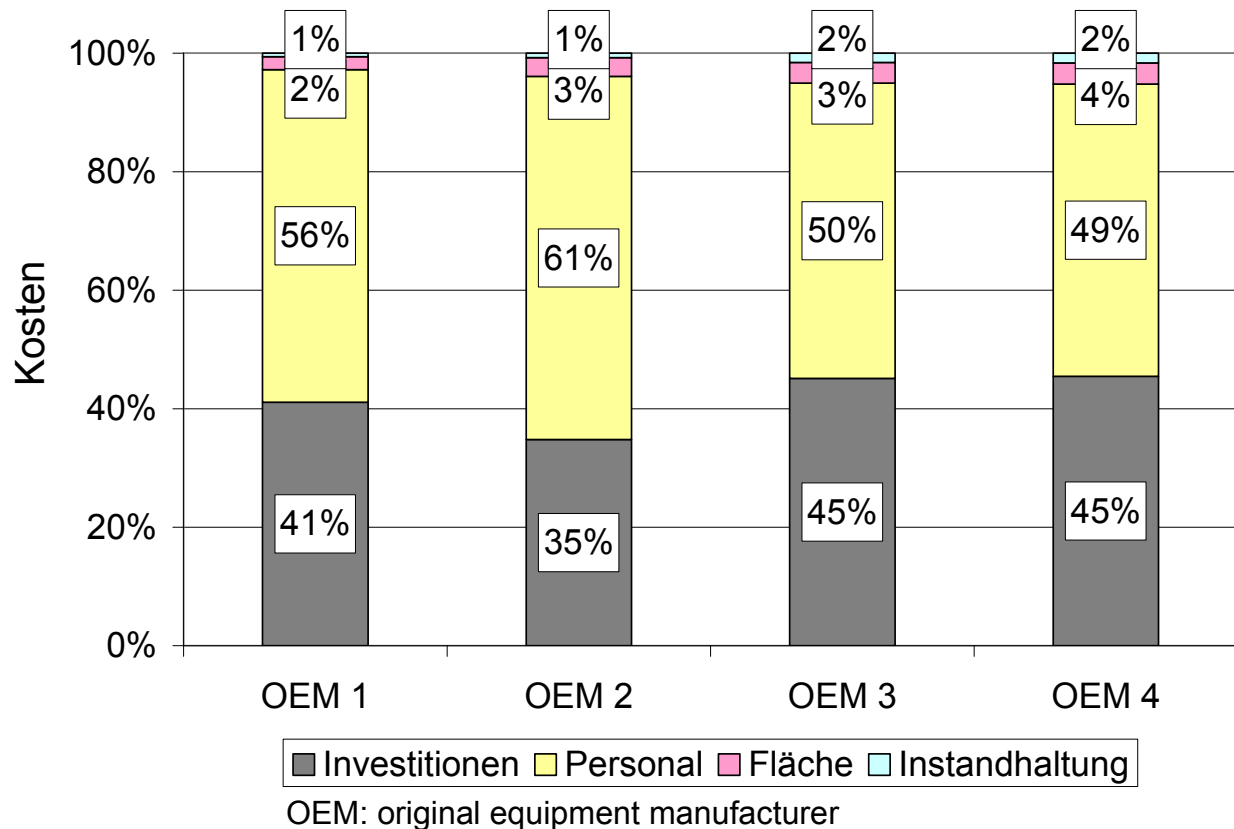


Abbildung 4: Kostenstruktur im Karosseriebau

### Planung im Produktentstehungsprozess

Die Planungsphase eines Karosseriebaus gliedert sich analog der Abwicklungsschritte des Produktentstehungsprozesses. Tabelle 1 ordnet den Abwicklungsschritten des PEP die jeweilige Nachweisführung zu.

Nr.	Abwicklungsschritt-Bezeichnung	Nachweisführung
1	Vorausentwicklung	Lastenheft
2	Struktur-Planung	Pflichtenheft
3	System-Planung	Dokumentation Vorzugsvariante
4	Detail-Planung	Leistungsbeschreibung
5	Ausführungsplanung	Ausführungspläne



6	Realisierung	Abnahme in Kenntnis der realisierten Projektanforderungen
7	Optimierung	Serienreife: Produkt, Prozess, Produktionssystem

*Tabelle 1: Abwicklungsschritte des Produktentstehungsprozesses ([Wien96]; [Koch99])*

Der eigentlichen Planungsphase geht die Vorphase mit der Lastenhefterstellung voraus. Hier werden grundlegende Rahmenbedingungen für die Planung festgelegt und der Planungsauftrag erteilt. Die Planungsphase unterteilt sich in Struktur-, System-, Detail- und Ausführungsplanung wobei diese nach [Schu96] in Ideal- und Realplanung unterteilt werden können. Der Übergang von Ideal- in Realplanung ist durch die Abbildung des Funktionsschemas in ein flächenmaßstäbliches Layout gekennzeichnet [Koch99]. In der Detail-Planung wird die in der Systemplanung zur Umsetzung freigegebene Variante auf Machbarkeit untersucht und angepasst. Für den Karosseriebau bedeutet dies beispielsweise die Simulation der Zugänglichkeiten für Schweißzangen und Roboter sowie die Untersuchung von Störkonturen beim Betrieb der Vorrichtungen. Die Durchführungsphase umfasst die Umsetzung der Planung in die Realität, also den physischen Aufbau der Anlagen im Werk und die Vorserie, in der zahlreiche Optimierungen durchgeführt werden und die Prozesse zur serienreife gebracht werden. Der operative Betrieb dieser Anlagen von Produktionsbeginn (start of production, SOP) bis zum Produktionsauslauf (end of production, EOP) wird als Betriebsphase bezeichnet.

Die beschriebenen Planungsphasen unterscheiden sich bezüglich Kennzahlenbedarf und Kennzahlenverfügbarkeit. In dieser Arbeit wird hauptsächlich die Kennzahlenverfügbarkeit in den Planungsphasen 1 bis 4 aus Tabelle 1 untersucht. Der Bedarf an Kennzahlen für die Durchführungs- und Betriebsphase wird jedoch ebenfalls berücksichtigt, um eine Weiterverwendung der erarbeiteten Leistungsmessmethode in nachfolgenden Phasen zu ermöglichen und somit den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) zu unterstützen. Außerdem ist die Verwendung der gleichen Leistungsmessmethode in laufender Fertigung und Planung unerlässlich zur Bildung zuverlässiger Vergleichswerte (siehe Kapitel 3.1). Die einzelnen Schritte der Planung sind von Rücksprüngen zur Verifizierung der bereits getroffenen Aussagen gekennzeichnet [Ost93] und daher sorgfältig auf einander abzustimmen [Schm01]. Die zyklische Vorgehensweise innerhalb der Phasen des Produktentstehungsprozesses oder der Projektplanung und – Durchführung nach ROCHSTROH weist Abbildung 5 aus.

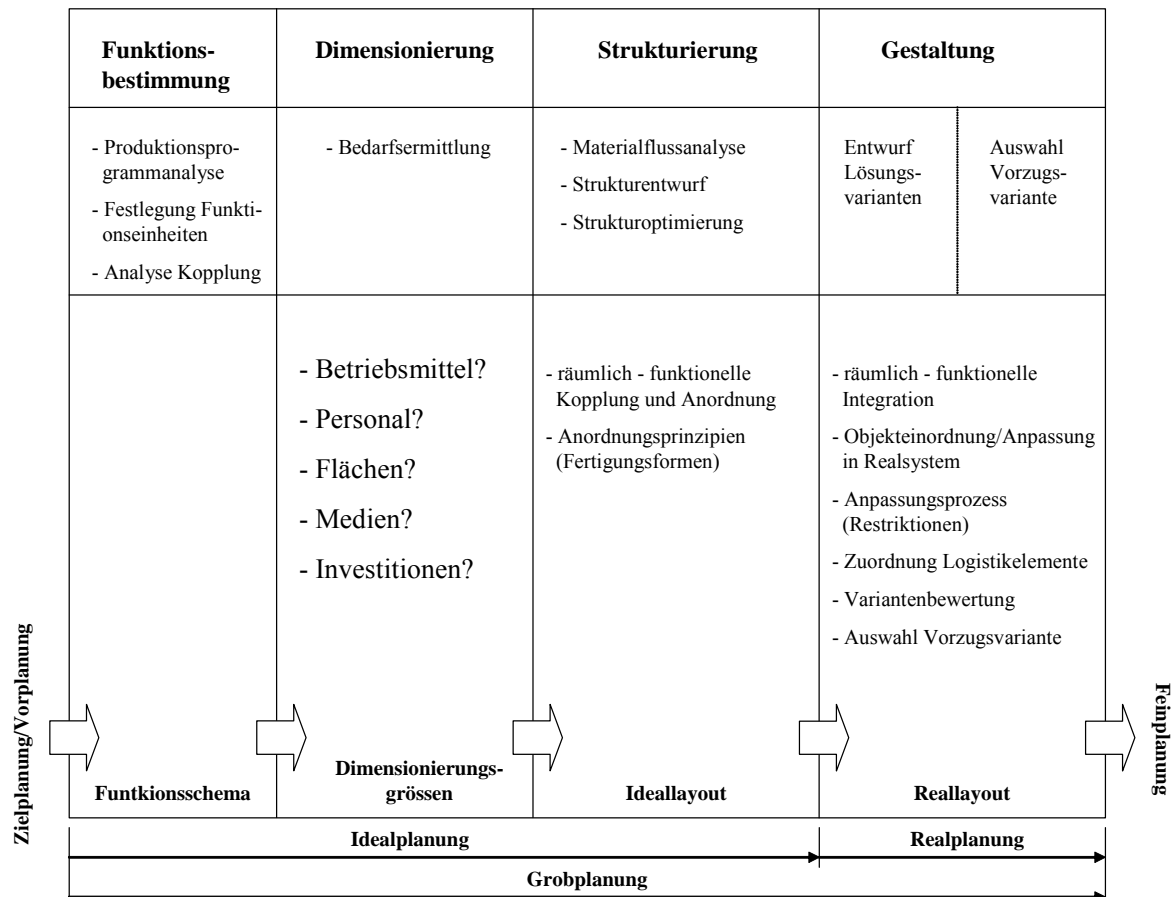


Abbildung 5: Die Aufgaben der Grobplanung [Rock78]

Oberstes Ziel der Grobplanung ist dabei die langfristige Maximierung der Effizienz zur Einhaltung der klassischen Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität in der Produktion [Wien99], also die Planung wirtschaftlicher Fertigungseinrichtungen unter Beachtung eines günstigen Verhältnisses der Kostenkomponenten: Investitions- und Betriebskosten. Zur Erreichung eines Gesamtoptimums müssen viele unterschiedliche Faktoren des Planungsumfelds vom Anlagenplaner berücksichtigt werden (siehe Abbildung 6). Dabei ist insbesondere der Planungshorizont von Bedeutung, da langfristiger Erfolg nur dann auftreten kann, wenn Produktionseinrichtungen von der Investitions- über die Nutzungsphase bis hin zur Stilllegung betrachtet werden und eine Sensibilität für Ziele, das so genannte *Soll*, geschaffen wird [Seng97].

Abbildung 6 gibt einen Überblick über Einflussfaktoren auf das Planungsergebnis. Ein wesentlicher Hebel zur Erreichung des Gesamtoptimums ist dabei die Beeinflussung des Produkts. Das *simultaneous engineering* (SE) ermöglicht dem Anlagenplaner entwicklungsbegleitend das Produkt unter produktionstechnischen Gesichtspunkten mitzugestalten.

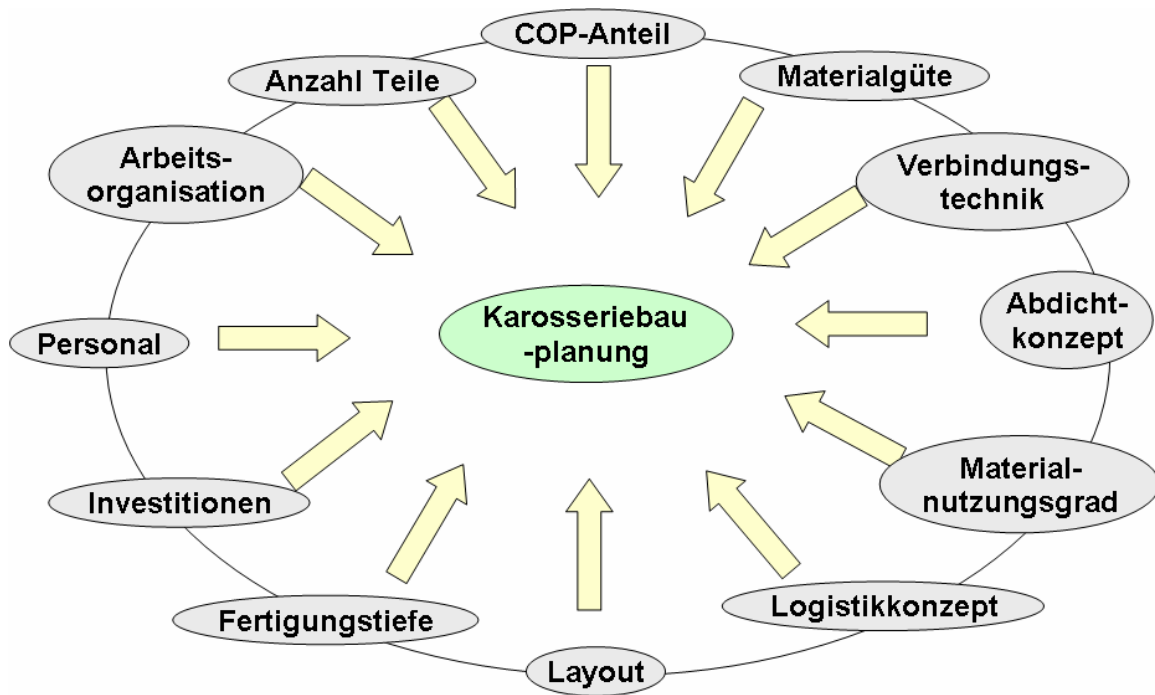


Abbildung 6: Auserwählte Schwerpunkte für notwendige Potenzialerschließungen im Karosseriebau

### Planungsprozess für den Karosseriebau

Folgenden Herausforderungen ist bei der Planung von Karosseriebauanlagen zu begegnen:

- Planung flexibler, reaktionsfähiger Anlagen zur Herstellung neuer und wirtschaftlicher Fahrzeuge [Mcki05]; [Booz06]
- Beherrschung neuer Technologien in der Großserie [Köni04]
- Berücksichtigung von Unsicherheiten bei der Produkt- und Prozessgestaltung [Röhr02]
- Handhabung einer hohen Anzahl von Planungsvarianten

Die Anpassungsmöglichkeit an veränderte Umfeldbedingungen ist durch den immer stärker werdenden Trend zu kundenindividuellen Produkten und den Nachfrageschwankungen auf Kundenseite nötig [Wien05]. Unternehmen müssen also flexibler und agiler werden um sich gegenüber ihren weltweiten Mitbewerbern durchsetzen zu können [Warn97]. Als Reaktion auf dieses veränderte Umfeld haben die meisten Automobilhersteller in den letzten Jahren auf eine starke Derivatisierung ihres Angebots gesetzt, was zu sinkenden Stückzahlen pro Derivat geführt hat (vgl. Abbildung 1). Sinkende Losgrößen und häufige Produktänderungen bzw. Produktwechsel erschweren jedoch eine wirtschaftliche Automatisierung der Produktionsprozesse. Durch eine hohe Automatisierung wird eine relativ starre Produktionskapazität vorgegeben. Dies birgt große Unsicherheiten, da die Absatzstückzahlen an den Märkten immer stärker schwanken [Röhr02].

Eine wirtschaftliche Kapazitätsanpassung an geforderte Stückzahlen ist sehr wichtig, steht aber im Gegensatz zu einer hohen Automatisierung und deren geringer bedarfsorientierten Anpassungsmöglichkeit [Schu04]. Dies gilt insbesondere für den Karosseriebau, da in diesem Fertigungssegment die Linienfertigung eine Spezialisierung der Arbeitskräfte und insbesondere der Betriebsmittel auf wenige Bearbeitungsschritte mit sich bringt, die sich wiederum durch eine geringe Flexibilität auszeichnet [Röhr02]. Da die Globalisierung der Märkte auch im Premiumsegment zu erhöhtem Produktivitätsdruck führt, sind Produktivitätseinbußen zu Gunsten eines flexibleren Karosseriebaus nicht denkbar. Es müssen also flexible Anlagen geplant werden, die bei Schwankungen in der Nachfrage über eine Anpassung der Produktionskapazität eine wirtschaftliche Herstellung des gewünschten Produkts ermöglichen<sup>1</sup>.

Dies kann nur bewältigt werden, wenn bereits in der frühen Projektphase die Beeinflussung der Produkte durch die Planung gestärkt wird. Bisher lag der Schwerpunkt der SE-Arbeit auf der Sicherstellung der Herstellbarkeit der Produkte. In Zukunft wird der Planer das Produkt gestalten, indem er wirtschaftlich umsetzbare Produktkonzepte aufzeigt, die z.B. auf bereits vorhandenen Linien produziert werden können oder unter Maximierung der Wiederverwendung (Siehe *Retooling* Kapitel 1.1.3) in bestehende Linien integriert werden können.

Die Technologieführerschaft deutscher Hersteller im Automobilmarkt stellt eine weitere Herausforderung an den Karosseriebau dar. Die Verwendung neuer Materialien in den Fahrzeug-Karosserien (siehe Abbildung 7) erfordert häufig die Einbringung neuer Fertigungstechnologien (siehe Abbildung 3) in den Herstellprozess. Dies ist insbesondere in der Anlaufphase eines Karosseriebaus häufig mit Einbußen bei der Anlagenverfügbarkeit und erhöhtem Nacharbeitsaufwand verbunden. Neben der Art der eingesetzten Fügeverfahren ist auch die Anzahl der Verbindungen, die im Karosseriebau entstehen von großer Bedeutung. Sie beeinflussen unmittelbar die Dimensionierung der Anlagen und somit die Investitionen (siehe Abbildung 8). Diese Faktoren erhöhen weiter den Druck auf die Produktivität deutscher Automobilhersteller im Karosseriebau.

---

<sup>1</sup> Eine Untersuchung der Beauftragungsfirma *Booz Allen Hamilton* ergab, dass unter den Top-Entscheidern der deutschen Automobilindustrie das Thema „Flexibilität in der Fertigung“ noch vor dem Thema „Kostensenkung“ als entscheidende Herausforderung der nächsten Jahre gesehen wird [Booz06].

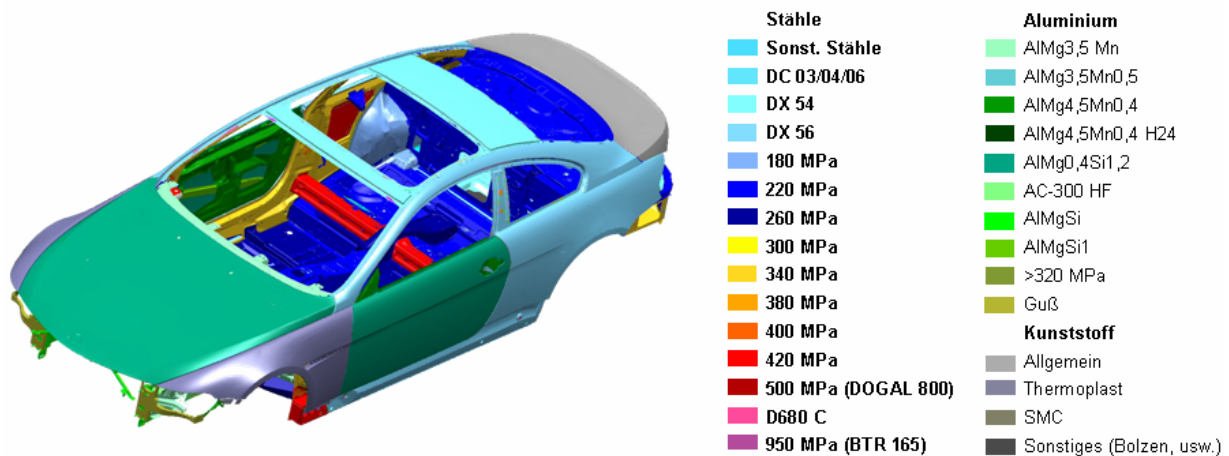


Abbildung 7: Werkstoffeinsatz im Karosseriebau am Beispiel des 6er BMW [Senf05]

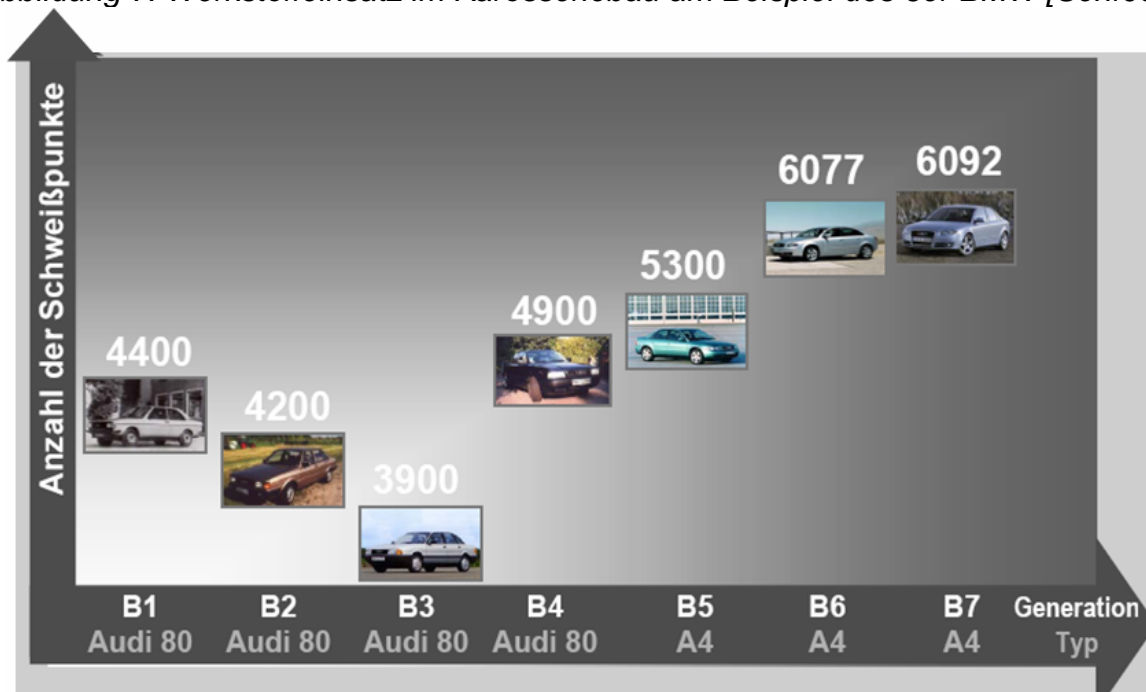


Abbildung 8: Entwicklung der Schweißpunktmenge am Beispiel des Audi A4 [Köni04]

Modellwechsel finden in der Automobilindustrie in der Regel alle 7 Jahre statt. Dies verdeutlicht die strategische Sichtweise und somit die langfristige Auswirkung der Planung von Produktionsanlagen [Baie02]. Für den automobilen Karosseriebau gilt diese Herausforderung in besonderem Maß, da hochautomatisierte Produktionsanlagen spezifisch für ein bestimmtes Produkt gestaltet werden müssen und somit die Planung von Karosseriebauanlagen mit großen Unsicherheiten verbunden ist [Schu04].

Diese Unsicherheiten beziehen sich einerseits auf die Gestaltung des Produkts, das zwischen Aufbau der Anlagen und SOP noch Änderungsschleifen durchläuft, und andererseits auf die strukturellen Rahmenbedingungen, in denen produziert werden soll. Die Schwierigkeit besteht darin, dass insbesondere in der Planung von Fertigungsanlagen Wechselwirkungen zwischen den Elementen bestehen, so dass

bei der Prozessgestaltung die Veränderung *eines* Strukturelements alle anderen direkt oder indirekt beeinflussen kann [Bern97]. In der frühen Phase eines Projekts Rahmenbedingungen für die Produktionsstruktur festzulegen gestaltet sich jedoch schwierig. So wird beispielsweise durch die Fertigung eines Modells an mehreren Standorten (Drehscheibenkonzept) versucht, den Personalbedarf von den Nachfrageschwankungen des Marktes zu entkoppeln, oder durch die Fertigung von Untergruppen an ausländischen Standorten Lohnkostenpotentiale auszuschöpfen. Die Herstellung der Karossen im Produktionsverbund unterschiedlicher Werke und Zulieferer erhöht die Komplexität der Struktur jedoch erheblich. Die Verteilung der Produktion und der Planung auf unterschiedliche Standorte erfordert daher eine starke Standardisierung der Planungswerkzeuge und Planungsprozesse.

Im Prozess der Anlagenplanung werden die Ergebnisse und Planungsvarianten oft zu subjektiv bewertet [Kola05]. Zur schnellen und sicheren Entscheidungsbildung bei Variantenbewertungen müssen bereits in der frühen Phase eines Projekts Teilergebnisse der Planung nach verschiedenen Kriterien bewertet werden. So kann die Anzahl der Planungsvarianten reduziert, und die gewählte Alternative (Vorzugsvariante) auf Optimierungsansätze überprüft werden [Sche01]. Die Reduzierung der Planungsvarianten in der Grobplanungsphase und die Standardisierung der Planungs- und Bewertungsprozesse stellen die wesentlichen Ansätze dar, um dem wachsenden Effizienzdruck auf die Planung zu begegnen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Leistungsmesssystem soll einen Beitrag zur Erhöhung der Planungseffizienz leisten, indem es die Variantenbewertung vereinfacht und Schwachstellen der Vorzugsvariante aufzeigt.

### **Erfolgsstrategien und Potentiale in der Fertigungsplanung**

Bei der Messung der Leistung einer Karosseriebauanlage in der Planungsphase müssen insbesondere die Erfolgsfaktoren der Fertigungsplanung durch Kennzahlen erfasst und bewertet werden, um Schwachstellen und Potentiale eines Planungsergebnisses aufzuzeigen. Zukünftige Erfolgsstrategien bieten einen Ansatz zur Leistungssteigerung und bilden die Basis für die Entwicklung eines Leistungsmesssystems. Diese werden im Folgenden beschrieben.

Ein Großteil der in der Fertigung anfallenden Kosten wird in der Planungsphase festgelegt. Die Transparenz der wirtschaftlichen Spielräume der Planungsobjekte ist für den Anlagenplaner also von herausragender Bedeutung [Kais90]. Bisher wurden zur Bewertung von Planungsvarianten in der Grobplanungsphase vor allem die Kostenkomponenten Personalkosten und Kapitalkosten, also Investitionen, betrachtet. Um diese zu reduzieren wurden in den letzten Jahren verschiedene Ansätze verfolgt, die zumindest die gestiegenen Investitionen für aufwändigere Verbindungstechnik (z.B. Laserschweißen, vgl. Kapitel 1.1.3 und Kapitel 3) kompensieren konnten. Die wesentlichen Strategien zur Reduzierung der Erstaufwendungen für einen Karosseriebau sind nach KÖNIG [Köni06]:

- Wiederverwendung von Anlagen (Retooling)
- Standardisierung von Komponenten

- Modulbauweise für das Fahrzeug und die Anlagen

Unter *Retooling* versteht man dabei die Weiterverwendung bereits vorhandener Anlagen zur Herstellung des Nachfolge – Modells. Dabei werden nur geometriespezifische (also designbestimmende) Vorrichtungen angepasst; die Anlagenstruktur bleibt unverändert bestehen. Dieses Vorgehen setzt eine strenge Standardisierung des Produkts voraus, also die Einhaltung der Fügefolge des Produkts, sowie die Beibehaltung der Fügeverfahren und somit der gewählten Werkstoffe. Ist dies nicht möglich, können zumindest flexible Komponenten, wie Roboter und Fördersysteme, wieder verwendet werden und in neue Anlagenstrukturen integriert werden. Dabei fallen die Einsparungen allerdings geringer aus.

Die durchgängige Standardisierung von Komponenten (z.B. Roboter, Greifer, Schweißzangen) trägt wesentlich zur Reduzierung von Investitionen bei. Zum einen ermöglicht die Verwendung standardisierter Komponenten die Bündelung der Einzelbestellungen und erhöht somit den Verhandlungserfolg mit dem jeweiligen Zulieferer. Zum anderen bewirkt die Verwendung gleicher Komponenten innerhalb eines Karosseriebaus die Verringerung der einzulagernden Ersatzteile, da das Ersatzteil einer Komponente in mehreren Anlagen eingesetzt werden kann.

*Beim Übergang von einem Fahrzeugmodell auf das Nachfolgemodell konnte in dem Fallbeispiel-Unternehmen durch die Standardisierung der Greifer die Investitionen für Ersatzteile um 20% reduziert werden. Dabei steht nur für wenige Greifer ein Ersatzgreifer zur Verfügung. Die Instandhaltung verfügt über einen Greifer-Baukasten der in kurzer Zeit die Montage eines beliebigen Greifers ermöglicht.*

Die Modulbauweise für Fahrzeuge stellt eine Erweiterung der Plattformstrategie dar und beruht auf dem Konzept, spezielle Funktionen eines Fahrzeugs, beispielsweise die Klimaanlage, in einem Modul abzubilden, das in mehreren Fahrzeugtypen zum Einsatz kommt. Übertragen auf den Karosseriebau bedeutet dies, dass beispielsweise das Modul *Hinterwagen* für mehrere Fahrzeuge unterschiedlicher Fahrzeugsegmente zum Einsatz kommt. So werden nicht nur die Kosten für die Entwicklung und Planung des Karosseriemoduls breiter umgelegt, sondern es wird auch die Stückzahl in der Produktion erhöht und die Abhängigkeit der Ausbringung von der Nachfrage nach einem Derivat reduziert.

Bei langlebigen Investitionsgütern betragen die Erstinvestitionen, gemessen an den gesamten Lebenslaufkosten, nur ca. 30%. Da Entscheidungen aber oft allein von den Erstinvestitionen abhängig gemacht werden, liegen hierbei oft falsch gesetzte Prioritäten vor [Niem04]. Auch im hochautomatisierten Karosseriebau stellt die Kostenkomponente der Investitionen nur ca. 40% der Gesamtkosten des Karosseriebaus dar. Die höchsten Kosten verursacht bei deutschen Standorten das Personal (siehe Abbildung 5).

Aktuelle Benchmarkstudien bestätigen den deutschen Herstellern auch im internationalen Umfeld die höchsten Personalkosten.

Der nach der amerikanischen Beratungsfirma *Harbour Consult* benannte *Harbour-Report* zeigt die Wettbewerbsnachteile deutscher Hersteller bei der Personalproduktivität gegenüber ausländischen Wettbewerbern auf. Glaubte man bisher im Karosseriebau die Obergrenze der wirtschaftlichen Automatisierung erreicht zu haben und keine weiteren Potentiale beim Personaleinsatz zu finden, zeigt der *Harbour-Report*, dass bei vergleichbarer Automatisierung, Werke japanischer Hersteller um den Faktor 2 weniger Personal beschäftigen um eine Karosse herzustellen (siehe Abbildung 9)

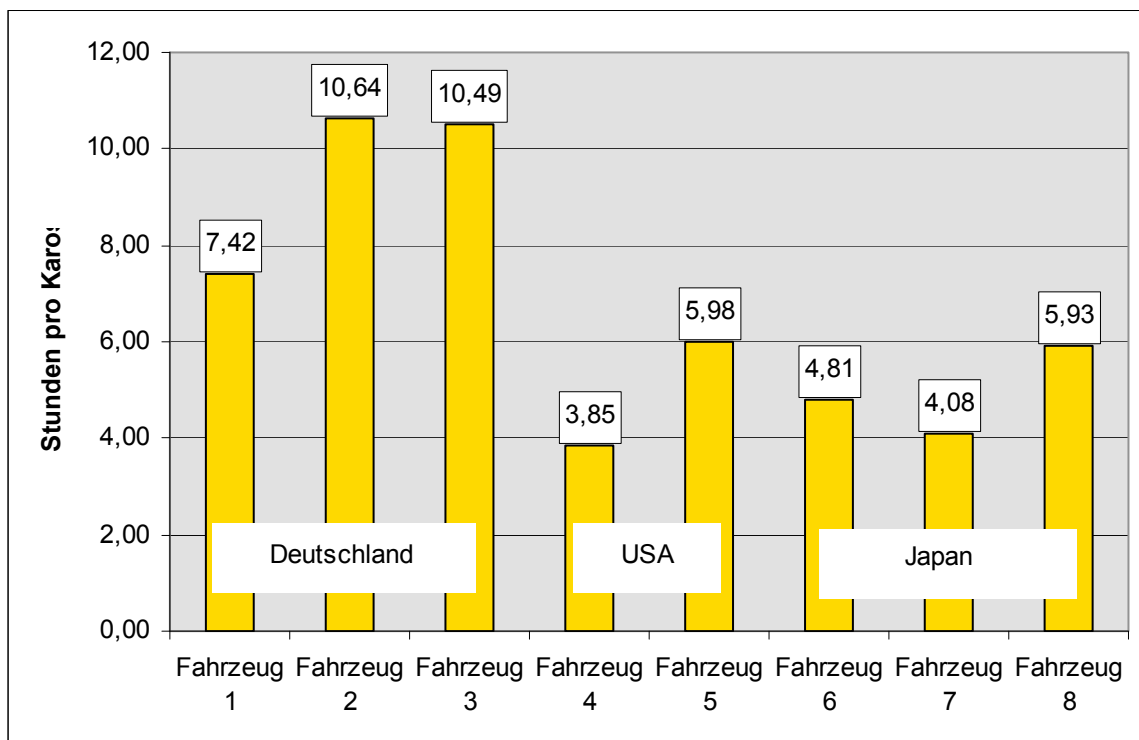


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Personalstunden pro Karosse [Harb06]

Um diesem Wettbewerbsnachteil zu begegnen muss die Personalproduktivität erhöht werden. Dazu werden folgende Ansätze verfolgt:

- Entkoppelung der Werker von der Taktzeit der Anlage durch Einlegebänder
- Layoutoptimierung zur Reduzierung der Laufwege
- Kombination von Tätigkeiten bei qualifizierten Mitarbeitern

Durch eine Entkoppelung des Werkers von der Taktzeit der Anlage, z.B. durch Einlegebänder, kann eine Reduzierung des Zeitverbrauchs für Nebentätigkeiten, wie *warten* erreicht werden. Mit dem durchgängigen Einsatz von Einlegebändern konnten in der Fertigung des B-Klasse Modells in dem Fallbeispiel – Unternehmen die Produktivität der Einleger (Einlegen von Karosserie-Einzelteilen in die Anlagen) um 30% gesteigert werden.



Die Optimierung des Anlagenlayouts insbesondere im Bereich der Einlegeplätze, kann zu einer Reduzierung der Gehwege (beispielsweise zwischen Teilebehälter und Einlegefenster in welches das Teil eingelegt wird) und somit zur weiteren Erhöhung der Personalproduktivität führen.

Die Kombination unterschiedlicher Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz bietet die Möglichkeit, die Auslastung der Mitarbeiter zu erhöhen, indem ihnen Aufgaben aus einem anderen Verantwortungsbereich übertragen werden. So kann beispielsweise ein Mitarbeiter der Instandhaltung bei störungsfreiem Betrieb der Anlage die Bestückung der Anlage und Logistiktätigkeiten übernehmen.

Um die Kosten im Karosseriebau zu reduzieren werden neben der Reduzierung der Fix-Kosten (z.B. Abschreibung) und variablen Kosten (z.B. Personalkosten) auch die Reduzierung der Bestände und somit der Kapitalbindung verfolgt. Als Maß für die Kapitalbindung kann die Durchlaufzeit herangezogen werden, also die Zeit die von der Einlastung des Auftrags bis zur Abgabe des Produkts an den internen Kunden, etwa die Lackiererei, vergeht. Die Auswirkungen einer reduzierten Durchlaufzeit beziehen sich allerdings nicht nur auf die Verringerung der Kapitalbindung. *Toyota* beschreibt in seinem *Toyota-Produktionssystem* (TPS) wie die Durchlaufzeit als Maß für jede Art von Verschwendung in der Fertigung betrachtet werden kann und stellt deren Verkürzung an den Anfang aller Optimierungsversuche [Like04]. Demnach kann eine Verringerung der Durchlaufzeit sogar die Qualität verbessern, da die Abschaffung von Nacharbeitsplätzen den *first-step-quality*-Druck auf die vorgelagerten Prozesse erhöht [Like04]. Fehler in den einzelnen Stationen werden sofort sichtbar und zuordenbar, da sie nicht durch eine Nacharbeitsstation verschleiert werden können (das selbstgesteuerte Erkennen von Fehlern wird im TPS als *Jidoka* bezeichnet). Auch bei europäischen Herstellern steht die Verkürzung der Durchlaufzeit im Fokus, wobei damit eher der Wunsch nach kurzen Reaktionszeiten auf Kundenwünsche und kurzen Lieferzeiten verknüpft ist. ISHITAWA fordert in diesem Zusammenhang gar eine Optimierung der gesamten Prozesskette mit dem theoretischen Ziel: „keine Lieferzeiten“ [Ishi01]. Maßnahmen zur Reduzierung der Durchlaufzeit im Karosseriebau können zum Beispiel sein: Bereitstellung kleinerer Teilmengen an den Anlagen, Verringerung der Speicherplätze zwischen den Prozessschritten und Umstieg von einer Füllstandsteuerung des Karosseriebaus auf eine Sequenzsteuerung im Pull-Prinzip (vgl. [Like04]).

Im ersten Teil dieses Kapitels wurde beschrieben mit welchen Ansätzen derzeit in der Planung die Verbesserung des Planungsergebnisses, also der Reduzierung der festgelegten Kosten der Karosseriebauanlagen, erreicht wird. Im zweiten Teil werden Potentiale beschrieben, die die Effizienz in der Planung von Karosseriebauanlagen erhöhen können. Dabei wird aufgezeigt, welche Schwachstellen bei der Projektabwicklung bestehen und wie diese mit Hilfe virtueller Planungstools behoben werden können.

Bei der Planung eines Karosseriebaus kommen diverse Planungstools zum Einsatz (siehe Kapitel 1.1.2), die die Layoutgestaltung, Erstellung von Mengengerüsten, Simulation der Ausbringung und Erstellung von Lastenheften für die Vergaben an die Auftragnehmer (Anlagenhersteller) erleichtern. Im Sinne einer durchgängigen Prozesskette greifen diese Tools auf die CAD-Daten der Entwicklung zurück. Sie werden in der Feinplanung und Umsetzungsphase vom Auftragnehmer detailliert und gepflegt. Im Gegensatz zu dieser durchgängigen Produktdatenkette gibt es derzeit keine durchgängige Prozesskette für die Projektabwicklung in der Planung. Dies äußert sich nicht nur in schwankenden Zielvorgaben und unsicheren Entscheidungen, sondern insbesondere in Reibungsverlusten an den Schnittstellen der Planungsphasen, da die zur Bewertung herangezogenen Kennzahlen von einem Bereich zum nächsten nicht einheitlich sind. Die Prozessorientierung stellt dabei einen Ausweg dar, Reibungsverluste, die durch Bereichsegoismen und nicht abgestimmte Zielgrößen an Schnittstellen im Unternehmen entstehen, zu beseitigen [Glei99].

Die Verwendung unterschiedlicher Zielgrößen in den Planungsphasen, kann folgende Gründe haben:

- Unterschiedliche Betrachtungsschwerpunkte der einzelnen Planungsphasen
- Zur Bewertung herangezogene Kennzahlen werden in unterschiedlichen Abteilungen nicht einheitlich berechnet. Dies kann an der mangelnden Verfügbarkeit von Daten in der frühen Planungsphase liegen, aber auch daran, dass diese Kennzahlen weitgehend manuell berechnet werden und somit der subjektiven Auslegung des jeweiligen Planers unterliegen.
- Planungsprämissen ändern sich über den Projektverlauf und somit über die Planungsphasen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Leistungsmesssystem (LMS) bietet – in ein CAP-Tool implementiert – einen Ansatz zur Behebung der beiden ersten Schwachstellen, da es die Vereinheitlichung der Zielgrößen, deren Berechnung und Bewertung über den ganzen Planungsprozess hinweg vorsieht. In dieser Arbeit wird jedoch nicht versucht der Änderung der Planungsprämissen über den Projektverlauf entgegenzuwirken, da dies eine Einschränkung der Flexibilität des betrachteten Bereichs mit sich bringt, die nicht erwünscht ist.

### 1.1.2 Einsatz virtueller Tools im Planungsprozess

Die wachsende Flut digital verfügbarer, hochwertiger Daten sowohl des Produktes als auch der Herstellprozesse bietet den Ansatz für diese Arbeit, die beschriebenen Schwachstellen zu beheben. Die Potentiale des CAP werden bereits genutzt um die Effizienz in der Planung zu erhöhen (siehe Abbildung 2). Die Verwendung der Tools für die Aufbereitung, Berechnung und Verdichtung von Kennzahlen zur Bewertung der Anlagen und somit zur Steuerung der Planungsprojekte wird derzeit noch nicht durchgängig genutzt (vgl. [Lind06]; [Brac06]). Es wird darauf geachtet, dass die

Planung und die Bewertung von Fertigungslinien in Zukunft in einem Softwaretool der virtuellen Produktionsplanung eingebunden werden kann [Schu97]; [Wang98]. Dabei stellt die CAP-basierte Bewertung der Fertigungslinien nicht nur eine Möglichkeit zur weiteren Effizienzsteigerung in der Planung dar indem es die manuelle Berechnung ersetzt, sondern sie steigert auch die Motivation der Mitarbeiter, da Entscheidungen transparent und nachvollziehbar werden.

Bereits in den 70er Jahren formulierte Harrington [Harr73] den Gedanken einer computerintegrierten Produktion als Weiterentwicklung des ICAM – Ansatzes (Integrated **C**omputer **A**ided **M**anufacturing). Das CIM-Konzept (**C**omputer **I**ntegrated **M**anufacturing) stellt die Potentiale der Informationstechnik für die Produktion sowie der Vernetzung einzelner CAx – Bausteine, wie CAD oder CAM dar. Anfang der 80er Jahre veröffentlichte in Deutschland der *Ausschuss für wirtschaftliche Fertigung* (AWF) seine Definition von CIM „*CIM beschreibt den integrierten EDV – Ansatz in allen mit der Produktion zusammenhängenden Betriebsbereichen. Es umfasst das informationstechnische Zusammenwirken zwischen CAD, CAP, CAM, CAQ und PPS. Hierbei soll die Integration der technischen und organisatorischen Funktionen zur Produkterstellung erreicht werden. Das bedingt die gemeinsame, bereichsübergreifende Nutzung aller Daten eines EDV – Systems, auch Datenbasis genannt*“ [Cron94]. Darin wird das Verständnis von CIM als Unternehmensphilosophie deutlich. Potentiale resultieren dabei aus der Vermeidung von Mehrfach Tätigkeiten und aus dem verbesserten Informationsmanagement. Aufbauend auf der Definition des AWF stellte SCHEER [Sche90] Anfang der 90er Jahre sein CIM-Modell dar. Dabei ordnete er der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) primär betriebswirtschaftlich planerische Funktionen zu (siehe Abbildung 10). Die Y-Schenkel des CIM-Modells dienen der Gliederung in betriebswirtschaftliche und technische Funktionen. Horizontal werden die Aufgaben der Planung und Realisierung unterteilt.

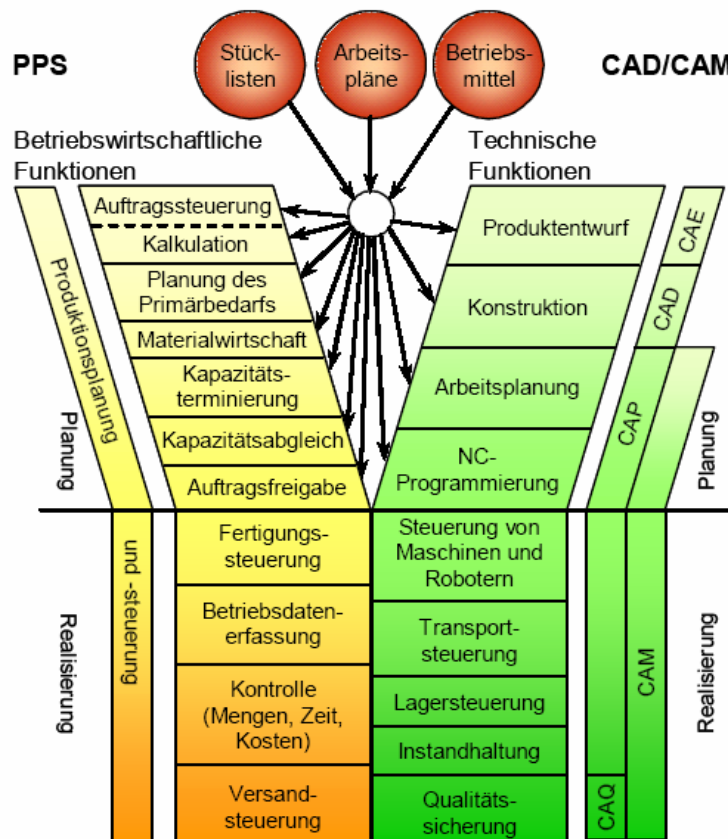


Abbildung 10: Das CIM-Modell nach Scheer [Sche90]

Die vorliegende Arbeit betrachtet den Bereich der Grobplanung von Fertigungsanlagen (vgl. Kapitel 1.1.1). In dem Betrachtungsbereich werden primär Funktionen aus dem technischen Schenkel des CIM-Modells wahrgenommen, die in der Planungsphase liegen und an die Konstruktion anschließen. Die anfallenden Aufgaben werden also von dem CAP unterstützt.

Aufgrund der hohen Bedeutung des CAP für den betrachteten Bereich wird auf die digitalen Werkzeuge, Ergebnisse und Aufgaben des CAP im automobilen Karosseriebau näher eingegangen. Da im CAP anfallende Aufgaben auf den Ergebnissen der Konstruktion aufbauen, stellt das CAD eine besonders wichtige Schnittstelle zum CAP dar. Daher muss der CAD – Baustein in Bezug auf die Bereitstellung der Daten zur Verarbeitung im CAP analysiert werden. Weitere Entwicklungen und Potentiale der übrigen CIM-Bausteine werden in dieser Arbeit nicht dargestellt.

Die Aufgabe des CAP in der Planungsphase liegt in der Unterstützung der durchzuführenden Tätigkeiten. Dabei sind sowohl einmalig durchzuführende Tätigkeiten der Grob- und Feinplanungsphase (Frage nach: *Was, Wie, Wodurch*), wie auch wiederkehrende Tätigkeiten der Produktionssteuerung (Frage nach: *Wie viel, Wann, Wo, Wer*) berücksichtigt (vgl. [Schu06]). Dazu gehören in der Grobplanungsphase unter anderem:

- Planung der Produktfügefolge (strukturierte Stückliste)
- Planung der Operationsreihenfolge
- Planung der Ressourcen
- Methodenplanung
- Simulation

## Digitale Fabrik

Seit Mitte der 90er Jahre stellt die *Digitale Fabrik*, als Weiterentwicklung des CIM-Gedanken das wichtigste Innovationsthema im Automobilbau dar [Köth03]. Bei 80% der deutschen OEMs wird bereits mit der Umsetzung der *Digitalen Fabrik* begonnen [Berg02]. Die VDI-Arbeitsgruppe *Digitale Fabrik* liefert folgende Definition: „Die *Digitale Fabrik* ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – unter anderem der Simulation und 3D-Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“ [VDI00]. Dabei stellt die Simulation und 3D-Visualisierung von Fertigungsabläufen eine Neuerung in Bezug auf die klassischen Werkzeugen des CIM dar. Abbildung 11 zeigt, dass die Werkzeuge der *Digitalen Fabrik* einen Beitrag zur Sicherstellung der reibungslosen Herstellung von Fahrzeugen unter Berücksichtigung von Qualitäts-, Zeit-, und Kostenzielen leisten, da bereits in der Planungsphase die Fertigung der Produkte virtuell abgesichert wird [Köth03].

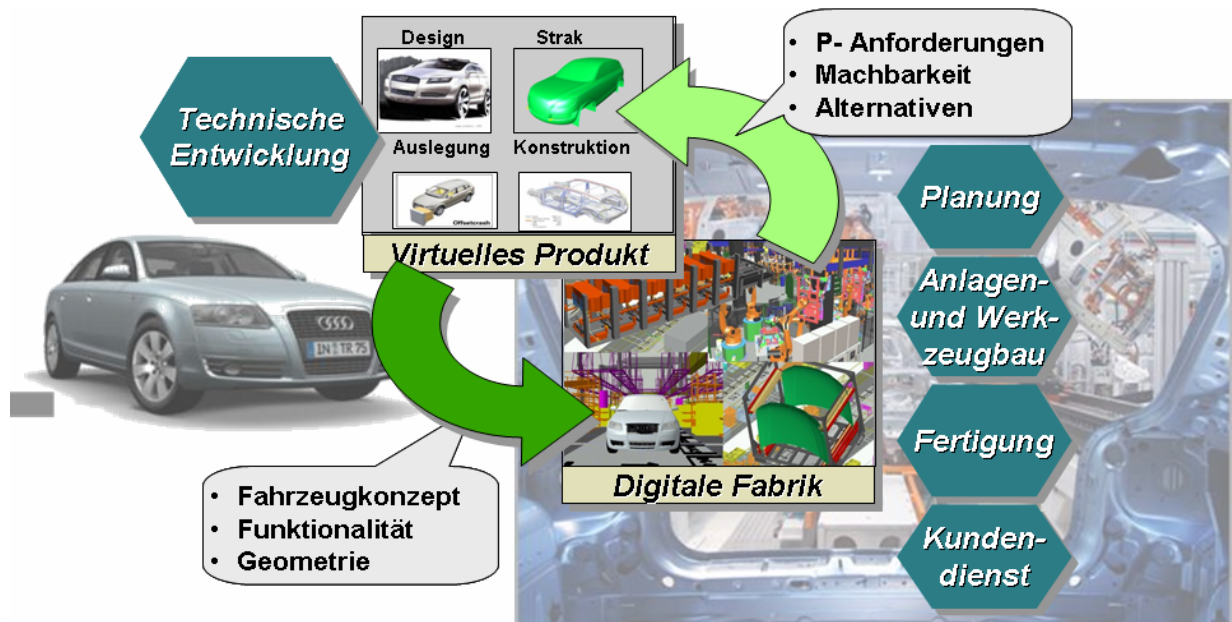


Abbildung 11: Nutzenpotentiale der Digitalen Fabrik ([Mala05]; [Berg02])

Abbildung 11 zeigt die Nutzenpotentiale der *Digitalen Fabrik*, deren Umsetzung in Automobilunternehmen bereits begonnen hat. Insbesondere der Einsatz der Kernmethoden der *Digitalen Fabrik* ist bereits weit fortgeschritten [Lind06]; [Brac06];

[West06]; [Berg02]. So sind bei einigen Herstellern die Werkzeuge bereits operativ im Einsatz. Im Hause BMW wurde beispielsweise bei der Entwicklung der aktuellen 5er-Reihe 1200 Montageprozesse unter Berücksichtigung der Fertigungsmittel simuliert und bezüglich der Fügefolge überprüft. Die Freigabe von Entwicklungsständen zu definierten Meilensteinen konnte auf diese Weise virtuell erteilt werden [Köth03]. Bei AUDI werden bei der Entstehung des neuen A4 nun erstmals die Werkzeuge der *Digitalen Fabrik* durchgängig über den gesamten Produktentstehungsprozess angewendet [Mala06].

Diese Beispiele zeigen, dass die *Digitale Fabrik* die Verzahnung von Produkt, Prozess und Ressource verbessert, die Beeinflussbarkeit des Produkts durch die Fertigungsplanung in der frühen Entwicklungsphase stärkt und den *Simultaneous-Engineering*-Prozess beschleunigt. Dies führt einerseits zu fertigungsgerechteren Produkten, die effizienter hergestellt werden können, und andererseits zu schnelleren Produktanläufen, da Änderungen am Produkt und somit am Fertigungsprozess in der Umsetzungsphase reduziert werden. Ähnlich wie das CIM erfordert allerdings auch die *Digitale Fabrik* eine langfristige Ausrichtung der Unternehmen. Um die Verknüpfung der Werkzeuge zu ermöglichen ist zunächst eine Prozessorientierung der betroffenen Bereiche erforderlich. Eine weitere Verbesserung zum projektübergreifenden Datenaustausch liefert das an der TU Dresden entwickelte Konzept der „Offenen Virtuellen Fabrik“ (OVF) nach KLAUKE [Klau02]. Das Konzept ermöglicht durch das „Zusammenspiel der Methodenmodule und der Datenverwaltung in der Datenbank“ [Klau02] auch die Integration kundenspezifischer (Planungs-)Werkzeuge und die Anbindung aller am PEP beteiligter Bereiche. So wird nicht nur die Verzahnung von Konstruktion und Planung gefördert sondern auch die Fahrzeugfertigung über die Anbindung der PPS und des CAM integriert [Klau02]. Abbildung 12 stellt das Gesamtkonzept der OVF dar.

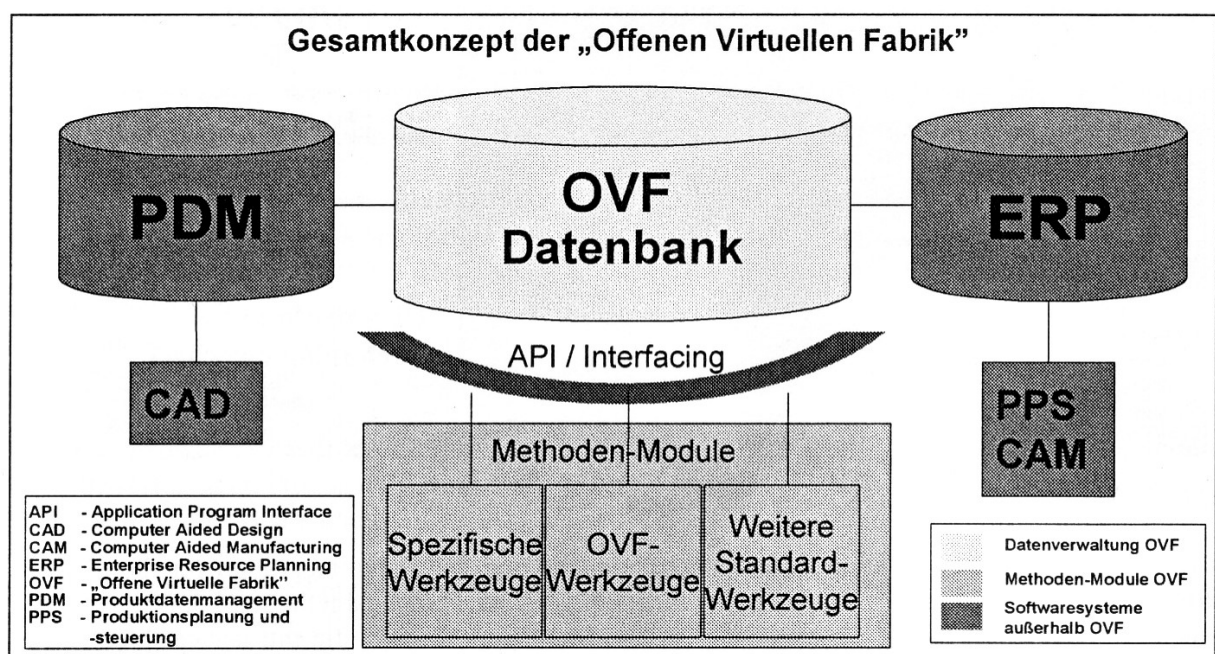


Abbildung 12: Gesamtkonzept der OVF [Klau02]



Aufbauend auf dem Konzept der OVF, analysierte KALUSCHE [Kalu06] die Anbindung erforderlicher Planungswerkzeuge an das Datenbankmodell. Insbesondere die darin enthaltene Einbindung der Projektabwicklung, also der Zielwertverfolgung und der Dokumentation, sind für die vorliegende Arbeit von großer Bedeutung. Nur die Abwicklung des Projektes in einem einheitlichen Datenmodell ermöglicht eine Standardisierung der Kennzahlenberechnung und somit des Projektmonitorings. In der Unternehmenspraxis ist jedoch die Einbindung der Projektabwicklung in das Datenmodell und somit an die Werkzeuge der *Digitalen Fabrik* noch nicht weit fortgeschritten (vgl. [Köni05]). Abbildung 13 zeigt die Vernetzung der Schritte im Planungsprozess bei sequentieller Betrachtung. Im Planungsalltag der Automobilindustrie werden jedoch viele Planungsschritte parallel bearbeitet, sodass auch eine Vernetzung von Prozessschritten erforderlich ist, die bei sequentieller Betrachtung nicht aneinander grenzen. Diese Parallelität im Planungsprozess muss bei der Leistungsmessung berücksichtigt werden, da sie sowohl auf die Verfügbarkeit, als auch auf den Bedarf an Kennzahlen Einfluss nimmt.

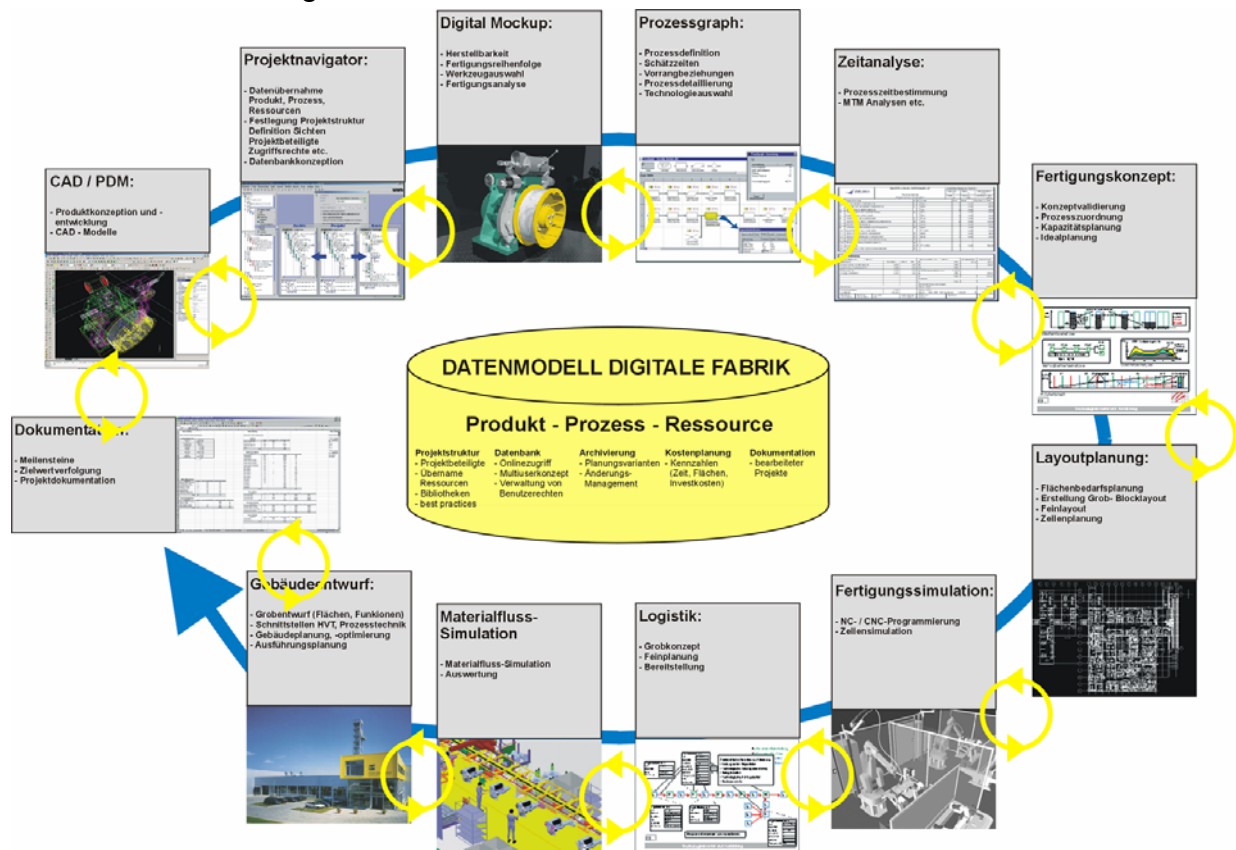


Abbildung 13: Die Digitale Fabrik im Planungsprozess [Kalu06]

Während 100% der Unternehmen die Integration des Projektmanagements in die *Digitale Fabrik* als relevant erachteten, schätzen nur 35% der Befragten den Status der Umsetzung in ihren Unternehmen als zufrieden stellend ein [Brac06].

So stellte auch LINDEMANN fest: „Die Kernmethoden der Digitalen Fabrik sind großteils bereits umgesetzt. Ein großer Handlungsbedarf besteht bei den unterstützenden Methoden“ [Lind06]. Dabei ist unter den unterstützenden Methoden

einerseits Datenintegration, aber auch Wissensmanagement und durchgängige Workflows zu verstehen [Lind06]. Abbildung 14 fasst die Entwicklung der industriellen Produktion zusammen. Dabei wird sichtbar, dass die Herausforderung nicht mehr in der bloßen Umsetzung der *Digitalen Fabrik* liegt, sondern in der Integration von Planung und Betrieb, sowie in der Entwicklung einer wissensbasierten Produktion (vgl. [West06]).

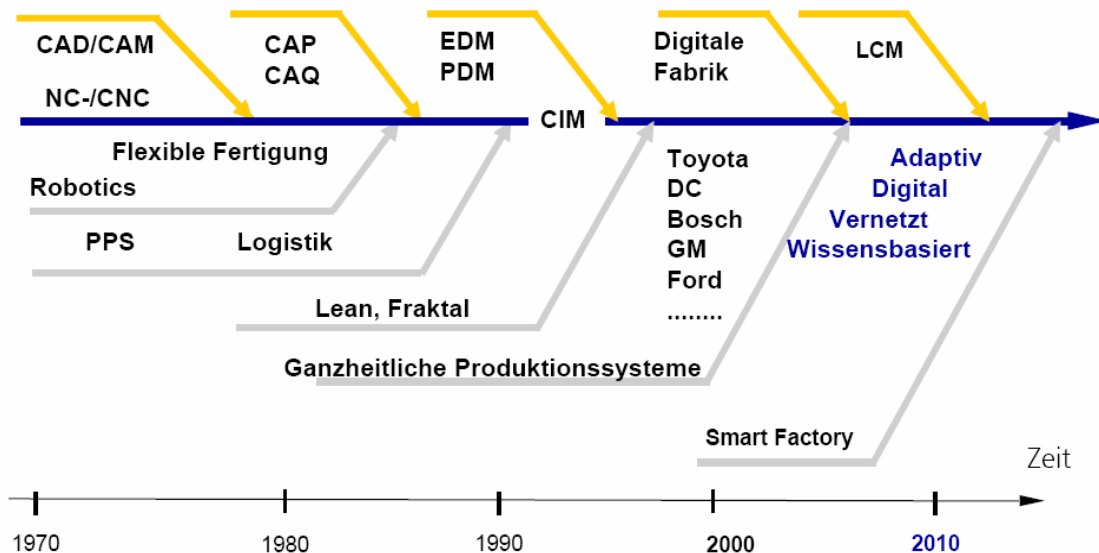


Abbildung 14: Entwicklung der industriellen Produktion [West06]

### Virtueller Karosseriebau

Die in dieser Arbeit entwickelte Methode zur Leistungsmessung bezieht sich im Allgemeinen auf Produktionssysteme. Erprobt und explizit umgesetzt wird die Methode für den automobilen Karosseriebau. Dies macht die Bedeutung des *Virtuellen Karosseriebaus* (*Vikab*) innerhalb der *Digitalen Fabrik* für die vorliegende Arbeit deutlich. Im Folgenden werden die Werkzeuge des *Virtuellen Karosseriebaus* und deren Entwicklungs- und Umsetzungsstand aufgezeigt. Daraus werden Potentiale zur computergestützten Leistungsmessung hergeleitet.

Abbildung 15 stellt die Einsatzfelder des *Virtuellen Karosseriebaus* dar. Für die einzelnen Gewerke einer Automobil-Fabrik sieht die *Digitale Fabrik* Lösungen vor, die auf die spezifischen Anforderungen der jeweiligen Gewerke zugeschnitten sind. Die Datenstruktur ist dabei einheitlich (siehe auch OVF, Abbildung 12), so dass insgesamt die Verknüpfung der einzelnen Anwendungen zur *Digitalen Fabrik* möglich wird.



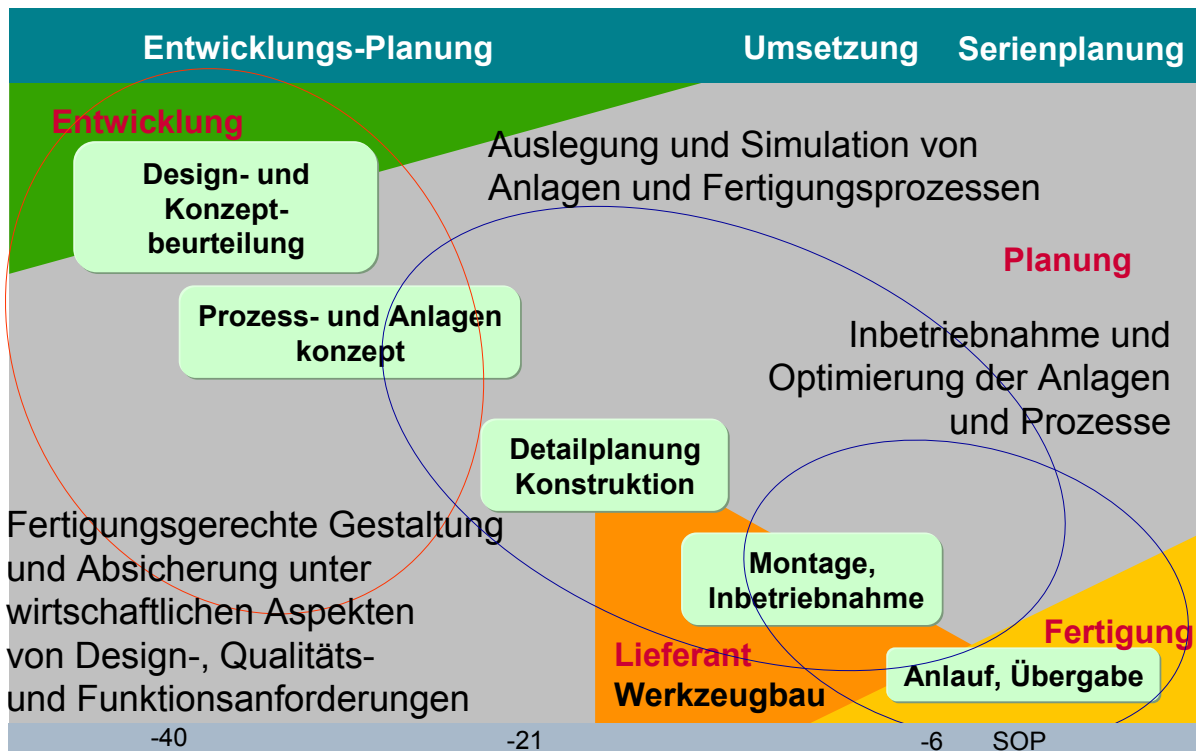


Abbildung 15: Einsatzfelder des Virtuellen Karosseriebaus [Mala06]

Abbildung 15 zeigt die Einsatzfelder des *Virtuellen Karosseriebaus* über den PEP. Projektbegleitend werden dabei Funktionen von der Konzepterstellung in der Vorphase, über die Produktbeeinflussung und Layouterstellung in der Grobplanungsphase bis hin zur Umsetzung bereitgestellt. Die Weiterverwendung des virtuellen Modells in der Betriebsphase der Anlagen wird zur Untersuchung weiterer Potentiale (KVP) und der Planung der Einbringung von Produktänderungen verwendet [Mala05].

In der Karosseriebauplanung werden in der Grobplanungsphase folgende Aufgabenbereiche abgedeckt:

- Prozessplanung (Überführung der Produktstückliste in die Fügefolge)
- Layoutplanung (Ideal- und Reallayout)
- Auslegung und Ausbringungssimulation
- Offline Programmierung und Robotersimulation
- Kostenplanung und Projektdokumentation<sup>2</sup>

Zur Untersuchung der Ausbringung, Auslegung der Puffer und Bestimmung der Taktzeiten werden die klassischen Simulationswerkzeuge wie beispielsweise *Simple++* oder *eM-Plant* der Firma *Technomatix* eingesetzt. Dabei werden organisatorische Informationen (Arbeitszeitmodell, Soll-Stückzahl) und technische Daten (Verfügbarkeit der verketteten Anlagen) unter dem Fokus der Ausbringungssimulation betrachtet.

<sup>2</sup> Bei der Kostenplanung werden derzeit lediglich Investitionen und Personalkosten berücksichtigt. Die Projektdokumentation umfasst hauptsächlich Konstruktionsdaten des Produkts und der Anlage.

Für die Prozessplanung und Layoutplanung gibt es heute noch kein Standard-Tool das OEM-übergreifend zum Einsatz kommt. Bei AUDI wurde in Zusammenarbeit mit der Firma *Technomatix* ein Werkzeug entwickelt, welches auf dem Planungstool *eM-Planner* aufbaut und um die spezifischen Anforderungen der Karosseriebauplanung ergänzt wurde. Das *Process-Designer* genannte Tool stellt dabei den Übergang von der herkömmlichen 2D-Layoutplanung zur 3D-Layout-orientierten, virtuellen Prozessplanung dar. Durch den Zugriff auf die CAD-Konstruktionsdaten (Stückliste, Verbindungstechnik, Werkstoff, Geometrie) des Fahrzeugs werden in diesem Planungstool Daten zu Produkt, Prozessen und Ressourcen zusammengeführt. Das objektorientierte Tool dient zunächst der Überführung der Konstruktionsstückliste in die Fügefolge der Karosse. Darauf aufbauend werden die erforderlichen Anlagen im Layout angeordnet, wobei auf eine Bibliothek standardisierter Anlagenbausteine zurückgegriffen wird. Anschließend werden die Arbeitsinhalte auf die Arbeits-Stationen des Karosseriebaus aufgeteilt, woraus sich der Ressourcenbedarf ergibt. Abschließend wird die Funktion der Anlage abgesichert, indem im virtuellen 3D-Layout Machbarkeitsuntersuchungen durchgeführt werden wie etwa Kollisions- und Zugänglichkeitsbetrachtungen (siehe Abbildung 16). Bei *Renault* konnte so mit der neuen Generation des *Renault Mégane* der Karosseriebau vollständig offline programmiert und simuliert werden (vgl. [Bell06]).

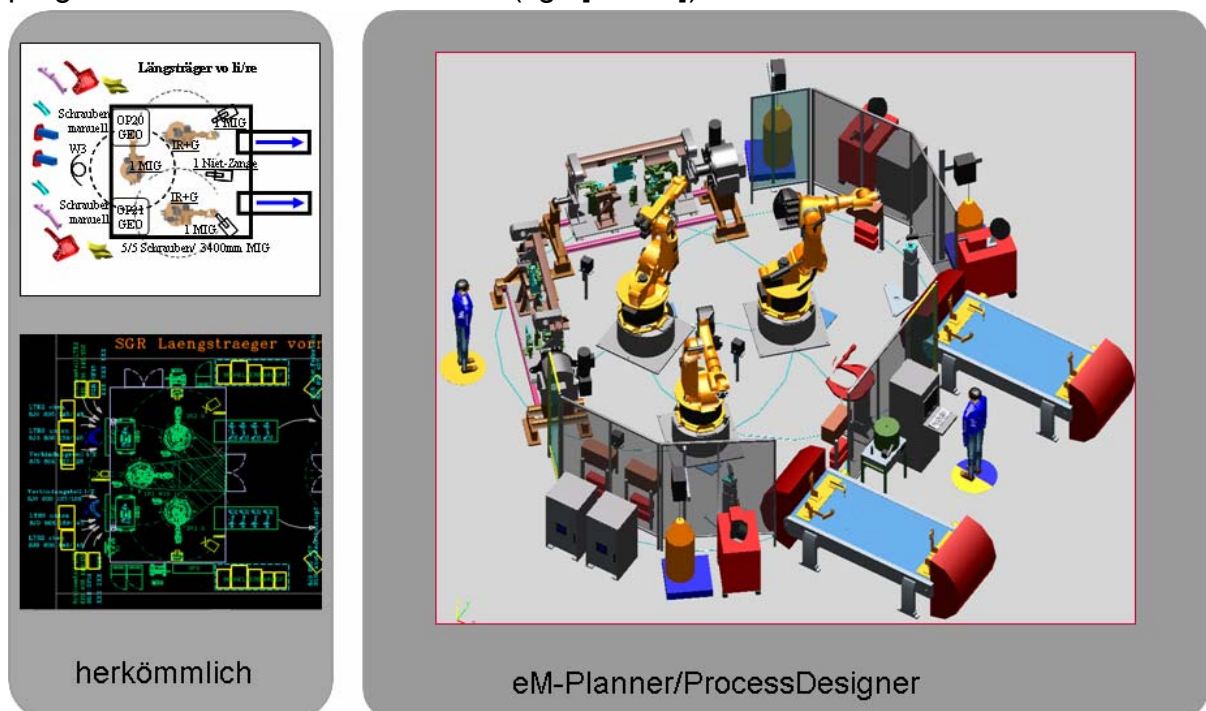


Abbildung 16: Machbarkeitsuntersuchungen im Virtuellen Karosseriebau [Mala06]

Die Wirtschaftlichkeit der erstellten Anlagenkonzepte wird ebenfalls in dem Tool bewertet. Mit der Zuordnung der erforderlichen Tätigkeiten (z.B. Schweißpunkte auf Roboter und manuelle Einlegetätigkeiten auf Werker) zu den Ressourcen kann deren Auslastung berichtet und optimiert werden.

Das Layout der Anlage wird im *Process- Designer* erstellt. Da dieser mit einer Kostenbibliothek verknüpft ist, ergeben sich dabei ohne Mehraufwand für den Planer folgende Planungsdokumente:

- das Mengengerüst (strukturierte Liste der eingesetzten technischen Komponenten) der Anlage
- die erforderlichen Investitionen zur Beschaffung der Fertigungseinrichtungen
- die Personalkosten (wenn die Aufteilung der Tätigkeiten auf die Werker durchgeführt wurde)

Das Werkzeug bietet also planungsbegleitend eine Kalkulation der wesentlichen Kostentreiber, Investitionen und Personalstunden für den Karosseriebau.

Mittelfristig wird die Datenverfügbarkeit z.B. mit der Einführung der OVF (vgl. [Klau02]) in der Planungsphase von Karosseriebauanlagen weiter zunehmen, da sämtliche relevanten Daten der Prozessplanung in einem Datenmodell vorliegen und über eine zentrale Datenbank jederzeit verfügbar sind. Dies eröffnet der planungsbegleitenden, CAP-basierten Leistungsmessung weitere Potentiale. In der vorliegenden Arbeit wird für die Leistungsmessung hauptsächlich auf vorhandene Daten in den beschriebenen Tools zurückgegriffen, da so eine zeitnahe Umsetzung in der Unternehmenspraxis sichergestellt wird. Weiterführende Anforderungen an die Werkzeuge und das Datenmodell der *Digitalen Fabrik* werden in der Fortführungsempfehlung dieser Arbeit berücksichtigt. Die daraus resultierenden Potentiale werden abgeleitet.

### 1.1.3 Leistungsmessung im Fahrzeugbau

Das Ziel der vorliegenden Arbeit liegt darin, Potentiale der rechnerunterstützten Planungstools des CAP für die Entwicklung eines computerunterstützten, planungsbegleitenden Leistungsmesssystems zu nützen. Dazu ist es notwendig, den Stand der Technik des CAP und des *Performance Measurement* (der Leistungsmessung) unter dem Blickwinkel der Anwendbarkeit auf die Planung von Fertigungsanlagen darzustellen und zu bewerten.

Die Notwendigkeit für die Weiterentwicklung und Umsetzung des Leistungsmesssystems muss aus den Nachteilen klassischer Kennzahlensysteme abgeleitet werden. Dabei soll das Konzept der *Balanced Scorecard* maßgeblich einfließen. Die Entwicklung aktueller CAP-Tools aus den Anfängen des CIM und die Potentiale aktueller Planungstools, im Hinblick auf die Implementierung eines Kennzahlensystems zur Leistungsmessung und –berichterstattung, werden untersucht.

### **Kennzahlen und Kennzahlensysteme**

Der Begriff der Leistungsmessung in Unternehmen geht auf den englischen Begriff *Performance Measurement* zurück, der seine Wurzeln in der betriebswirtschaftlichen Forschung zu Kennzahlen und deren Verknüpfung in Kennzahlensystemen hat [Sand04].

In der Literatur sind zahlreiche Definitionen zu Kennzahlen vorhanden. Für die vorliegende Arbeit wird die Definition in Anlehnung an *Reichmann* und *Küpper* zu Grunde gelegt: Kennzahlen stellen Größen dar, die einen quantitativ messbaren Sachverhalt erfassen und relevante Tatbestände sowie Zusammenhänge in einfacher, verdichteter Form kennzeichnen [Reic06; Küpp05]. Kennzeichnend an dieser Definition ist der Hinweis, nur *relevante Tatbestände* zu erfassen und in *verdichteter Form* zu berichten. Beide Punkte sind bei der Auswahl der Kennzahl in Kapitel 2 von Bedeutung.

Damit Kennzahlen als Hilfsmittel zur Steuerung von Unternehmen dienen können, müssen folgende Funktionen erfüllt werden [Glad05; Sand04; Lasc98; Webe95]:

- Operationalisierung (Ziele und Zielerreichung messbar machen)
- Anregungsfunktion (frühzeitiges Erkennen von Veränderungen)
- Vorgabe-, Steuerungs- und Kontrollfunktion (Soll- und Vergleichswerte)
- Informationsfunktion (Informationsverdichtung und -selektion)
- Unterstützungsfunktion (Entscheidungsunterstützung)
- Koordinationsfunktion (bereichs- und unternehmensübergreifende Abstimmung)

Aus der Erfüllung dieser Funktionen lassen sich für die Bildung und Auswahl der Kennzahlen eine Anzahl von Forderungen ableiten. In Tabelle 2 werden diese Forderungen nach [Wagn06]; [Lasc05]; [Glei01] zusammengefasst und erläutert.

Kriterium	Erklärung
Aktualität	Eine Kennzahl ist aktuell, wenn sie den aktuellen Gegebenheiten entspricht, also betriebliche Tatbestände und Prozesse realistisch und zeitnah („up- to- date“) abbildet, und überdies tatsächlich für die Steuerung bzw. Diagnose genutzt wird.
Akzeptanz	Eine Kennzahl weist die entsprechende Akzeptanz auf, wenn sie von allen Mitarbeitern und auch vom Top- Management als Mittel zur Leistungsmessung und -bewertung anerkannt und aktiv angewendet wird.
Beeinflussbarkeit	Eine Kennzahl ist beeinflussbar, wenn bestimmte Maßnahmen eine entsprechende Auswirkung auf ihren Wert haben.
Empfindlichkeit	Eine Kennzahl ist empfindlich, wenn sie bedeutende Fehler bzw. Störungen im Prozess reflektiert und ein schnelles Aufdecken von Prozessveränderungen ermöglicht.
Kompatibilität	Eine Kennzahl ist kompatibel, wenn sie aus den vorhandenen betrieblichen Informationssystemen ableitbar ist.
Relevanz	Eine Kennzahl ist relevant, wenn sie ausschließlich entscheidungsrelevante Informationen abbildet und ein positiver Trend der Kennzahl im Zusammenhang mit einer signifikanten Leistungsverbesserung steht.
Validität	Eine Kennzahl besitzt die entsprechende Validität, wenn sie den zu messenden Sachverhalt spezifisch abbildet und die zu ihrer Ermittlung verwendete Messmethode die erforderliche Zuverlässigkeit aufweist.

Vergleichbarkeit	Eine Kennzahl ist vergleichbar, wenn sie von verschiedenen Benutzern vergleichbar interpretiert werden kann und damit sowohl eine inner- und zwischenbetriebliche, als auch eine Vergleichbarkeit zu verschiedenen Zeitpunkten gewährleistet.
Verständlichkeit	Eine Kennzahl ist verständlich, wenn sie eine eindeutige und einheitliche Definition besitzt und ihre Darstellungsform für alle Mitarbeiter verständlich und nachvollziehbar ist.
Wirtschaftlichkeit	Eine Kennzahl ist wirtschaftlich, wenn der Kosten- und Zeitaufwand der einmaligen Aufstellung sowie der laufenden Erhebung und Verarbeitung gegenüber dem Nutzen aus der Überwachung der Kennzahl in einem effizienten Verhältnis steht.

*Tabelle 2: Forderungen an die Bildung und Auswahl von Kennzahlen (Unter Verwendung von [Webe06a]; [Wagn06]; [Lasc05]; [Glei01])*

Werden zur Steuerung eines Unternehmens (-prozesses) Kennzahlen herangezogen, die die beschriebenen Forderungen erfüllen, können die wesentlichen Funktionen wie z.B. Information und Operationalisierung realisiert werden. Mit der Steuerungsfunktion verbindet sich aber auch der Bedarf, bei Abweichungen des Ist- vom Sollwert, Maßnahmen abzuleiten, die eine Zielerreichung ermöglichen. Fehlinterpretationen und Mehrdeutigkeiten bergen dabei die Gefahr, Fehlentscheidungen herbeizuführen. Ihre volle Aussagekraft erlangen Kennzahlen also erst, wenn ihre Abhängigkeitsbeziehungen durch die Verknüpfungen der Kennzahlen in einem Kennzahlensystem erfasst werden (vgl. [Reic06]; [Küpp05]; [Sand04]).

Unter einem Kennzahlensystem wird eine Zusammenstellung von Kennzahlen verstanden, die in einer logischen, empirischen oder hierarchischen Beziehung zueinander stehen, einander ergänzen oder erklären und auf ein gemeinsames übergeordnetes Ziel ausgerichtet sind [Reic06]; [Küpp05].

In einigen Unternehmensbereichen wurden bereits Kennzahlensysteme entwickelt, die durchaus für die jeweilige Aufgabe nützlich sind. Nachfolgend werden drei bedeutende Kennzahlensysteme vorgestellt und in Bezug auf deren Bedeutung für die vorliegende Aufgabenstellung kritisch bewertet.

In dem Bereich der Logistik existieren diverse Entwürfe für die Erstellung von Logistik-Kennzahlensystemen [Lasc98]. Diese Kennzahlensysteme sind überwiegend auf die Logistik als Service- oder Dienstleistungsfunktion und die damit verbundenen Tatbestände und Problemstellungen ausgerichtet. Sie lenken den Fokus ausschließlich auf Logistik-Kennzahlen (z.B. Kosten, Zeit, Bestände). Einflussgrößen wie Flexibilität und Standardisierung als langfristige Potentialkennzahlen werden konzeptionell nicht berücksichtigt.

Kennzahlensysteme mit einem Zeit- oder Qualitätsbezug, wie beispielsweise das Konzept des *Time – Based – Management* oder das *Total – Quality - Management* (TQM) stellen die Qualität bzw. die Durchlaufzeit in den Mittelpunkt der

Unternehmensphilosophie [Schm06]; [Kump01]; [VDI3633]. Das von der *European Foundation for Quality Management* (EFQM) entwickelte Modell konkretisiert die Inhalte von TQM anhand von Kennzahlen. Ursprünglich als Kern von Qualitätspreiswettbewerben konzipiert, eignet sich das Modell ebenso für die Bewertung eines Unternehmens und dessen Geschäftsprozesse [Schm06]; [Sand04]; [Klin01b].

Das Ziel des *Time-Based-Management* ist es nichtwertschöpfende Prozesse (z.B. Warte-, Liege- und Transportzeiten) zu identifizieren und zu minimieren. Die daraus resultierende Verkürzung der Durchlaufzeit im Unternehmen wirkt sich positiv auf die Produktivität von Arbeit und Umlaufvermögen aus (vgl. [Horv96]).

Null-Fehler-Quoten oder minimale Durchlaufzeiten in der Produktion führen dazu, dass die gleiche Anzahl an Produkten mit weniger Ressourcen hergestellt werden kann. Da der Bedarf an Ressourcen jedoch meist schon im Vorfeld festgelegt wurde (die Fertigungsanlage ist bereits umgesetzt) und die Fixkosten demzufolge ohnehin anfallen, schaffen diese Verbesserungen zwar Leerpotentiale aber nur geringfügig niedrigere Ausgaben. Die alleinige Anwendung von qualitäts- oder zeitorientierten Kennzahlensystemen ermöglicht folglich eine Leistungsmessung anhand nichtfinanzieller Erfolge, vernachlässigt jedoch die Bewertung der mittel- bis langfristigen Auswirkungen auf die Ergebniskomponente (also auf die Herstellkosten) [Glei97]; [Glei01]; [Kapl97].

Kennzahlen-Konzepte zur wertorientierten Unternehmensführung verfolgen das Ziel, den Wert eines Unternehmens in Management – Entscheidungen einzubinden und damit den Wert der (Eigentümer-) Anteile nachhaltig zu steigern. Als zentraler Bestandteil dieser Konzepte soll die Wertsteigerungsanalyse die Abschätzung der Auswirkungen strategischer Maßnahmen auf den Unternehmenswert unterstützen. Dies geschieht mittels Kennzahlensystemen in Form von Werttreiberbäumen oder –hierarchien. Dabei werden “innovative” finanzielle Spitzenkennzahlen wie der *Economic Value Added*, *Economic Profit*, *Cash Value Added*, *Shareholder Value Added* oder der *Discounted Cash Flow* in ihre Werttreiber zerlegt [Schm06]; [Küpp05]; [Sand04]; [Coen03]; [Glei01]. Für den Einsatz auf operativer Ebene erscheinen die genannten Kenngrößen zu abstrakt. Trotz der Einbindung nichtfinanzieller Werttreiber in den untersten Aufgliederungsebenen dominieren eindeutig finanzielle Kennzahlen und rechentechnische Zusammenhänge diese Kennzahlensysteme [Glei01]; [Klin01b].

Die beschriebenen Kennzahlensysteme (Logistik, Qualität, Durchlaufzeit und Wertorientierung) weisen Nachteile auf, die deren Einsatz für die Leistungsmessung

im Karosseriebau ausschließen. Eine im Jahre 2004 veröffentlichte Studie<sup>3</sup> belegt zudem, dass sowohl TQM als auch der Wertorientierungsansatz die Erwartungen der Unternehmen kaum erfüllen können und daher in naher Zukunft keine wichtige Rolle mehr spielen werden. Dagegen gewinnen Inhalte wie Strategische Planung, Prozess- und Kundenorientierung weiter an Bedeutung [Matz04].

Es gibt eine Reihe von Konzepten zur Leistungsmessung und -steuerung, welche die genannten Anforderungen (vgl. Kapitel 1.1.1) jedoch nur unzureichend erfüllen und bislang nicht die gewünschten Ergebnisse erzielt haben [Kapl97]. Anlage 3 stellt eine Übersicht der Arten von Kennzahlssystemen dar.

### **Leistungsmessung**

Das objektiv nachvollziehbare Messen von Arbeitsergebnissen und Arbeitsleistungen auf den verschiedenen Ebenen eines Unternehmens stellt seit jeher ein schwieriges und vieldiskutiertes Problem dar. Zur Bestandsaufnahme der Kennzahlenpraxis in deutschen Unternehmen wurde eine Befragung unter 254 leitenden Managern durchgeführt. Nach der Studie waren knapp zweidrittel der Befragten mit den zur Verfügung stehenden Kennzahlen unzufrieden [Sand04]. Insbesondere wurde die Häufigkeit der Berichterstattung, die ausschließliche Ausrichtung auf finanzielle Kennzahlen ohne Hinweis auf Ursachen und Ergebnistreiber und die Inhomogenität der Berichte über unterschiedliche Organisationseinheiten als Schwachpunkte bestehender Kennzahlensysteme genannt.

GLEICH [Glei97] führt die Fehlentwicklungen im deutschen Maschinenbausektor als Beispiel für das Versagen der Kennzahlenpraxis an. Der Einsatz von traditionellen Kennzahlensystemen kann die beschriebenen Funktionen im heutigen turbulenten und dynamischen Wettbewerbsumfeld nicht mehr erfüllen [Glei01]. So führt beispielsweise das Informationszeitalter zu einer Reihe neuer Handlungsbedingungen und Anforderungen an die Kennzahlensysteme [Kapl97]. Auch wichtige Werkzeuge, wie das Benchmarking, welches die Basis für die Definition von Zielen im Unternehmen bildet, werden in herkömmlichen KZS nicht genügend berücksichtigt. Das Geschäftsprozessmanagement welches den Fokus auf die Prozessleistung im Unternehmen richtet (siehe Kapitel 2.1) und den Zielwerten die Istwerte gegenüberstellen soll, erfährt derzeit noch kaum Unterstützung durch Kennzahlen, da sich diese größtenteils auf die finanzielle Bewertung der Erzeugnisse und nicht auf die Messung der Prozessparameter beziehen. Tabelle 3 stellt die Nachteile klassischer Kennzahlensysteme dar, welche als Ausgangspunkt für Verbesserungsansätze dienen.

---

<sup>3</sup> Ziel der Befragung von 114 Unternehmensberatern aus Deutschland, Österreich und der Schweiz war die Einordnung von 20 ausgewählten Management- Konzepten und -methoden hinsichtlich deren ichtigkeit für die Praxis in den nächsten fünf Jahren und der Zufriedenheit der Unternehmen [Matz04].

Defizit	Erläuterung
Zeitbezug	Häufig bilden die Kennzahlen des jeweils abgelaufenen Geschäftsjahres die Basis für die Entscheidung über die Zukunftsplanung. Neben diesen rein vergangenheits-orientierten Messgrößen, die lediglich eine ex- post- bezogene Betrachtung erlauben, sollen außerdem solche Steuerungsinformationen berücksichtigt werden, die eine entsprechende Aussagekraft hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen besitzen. [Webe06]; [Glei01]; [Brow97]
Anreizbezugs- punkt	Traditionelle Steuerungskonzepte richten den Handlungsfokus vornehmlich auf die Reduzierung von (Kosten-) Abweichungen. Erst die Verknüpfung der Kennzahlen mit entsprechenden Maßnahmen und kontinuierliche Verbesserungsaktivitäten ermöglichen eine gezielte Steuerung der Prozesse und stetige Steigerung der Prozessleistung. [Glei01]; [Brow97]
Format	Die vorwiegend rechentechnische Verknüpfung innerhalb klassischer Kennzahlensysteme stützt sich ausschließlich auf „hard facts“ und schließt wichtige nicht- quantitative Interdependenzen aus. Qualitative Steuerungsgrößen („soft facts“) sind für die Verhaltensweise der Manager aber von großer Wichtigkeit. Sie zeigen Signale mit Frühwarncharakter auf und ermöglichen daher die Aufdeckung strategischer Fehlentwicklungen. [Webe06]; [Glei01]; [Brow97]
Dimension	Ein stark monetär geprägtes Steuerungskonzept reduziert die Inhalte der Leistung auf finanziell bewertete Ergebnisgrößen, ohne Ursachen und Ergebnistreiber transparent zu machen. Kosten haben ihre zentrale Bedeutung zur Leistungsmessung und Effizienzverbesserung eingebüßt und sind als Steuerungsgrößen durch andere, insbesondere „technische“ (nichtfinanzielle) Informationen, die letztendlich für die Erbringung der externen Leistung verantwortlich sind, zu ergänzen. [Glei01]; [Webe97]; [Wild97]
Ausrichtung	Traditionelle Steuerungskonzepte richten die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Ansprüche unternehmensinterner Interessengruppen. Kennzahlen sollten jedoch auch auf die Bedürfnisse der Kunden und Anteilseigner ausgerichtet sein, um eine Anpassung, z.B. an veränderte Kundenanforderungen, gewährleisten zu können. [Glei01]; [Brow97]
Steuerungsziel	Einzelne Geschäftsbereiche erfassen oft Kennzahlen, die in keinerlei Zusammenhang zu den Kennzahlen der Firmenzentrale stehen, was zu Brüchen und Widersprüchlichkeiten hinsichtlich der Strategieumsetzung und zu bereichsbezogenen kurzfristigen Suboptima führt. Ein Steuerungssystem sollte Informationen für alle Leistungsebenen liefern und so eine schnelle und nachprüfbare Umsetzung von Zielvorgaben in den operativen Bereichen ermöglichen. [Wild04]
Aggregationsgrad	Klassische Steuerungskonzepte arbeiten mit hoch aggregierten Unternehmenskennzahlen. Die starke Verdichtung zu einer Spitzenkennzahl birgt die Gefahr, dass wichtige Detailinformationen hinsichtlich weiterer relevanter Leistungsebenen (z.B. Mitarbeiter, Prozesse) verloren gehen. Diesen Risiken kann mit einem geringeren Aggregationsgrad entgegengewirkt werden, der überdies die Gestaltungsflexibilität des Kennzahlensystems begünstigt. [Glei01]; [Brow97]
Planungsbezug	Klassische Kennzahlensysteme richten den Fokus ausschließlich auf Maßnahmen zur kurzfristigen finanziellen Optimierung und vernachlässigen die Betrachtung zukunftsichernder Erfolgspotentiale. Die Einbindung langfristiger (strategischer) Kennzahlen bringt zwar keinen unmittelbaren finanziellen Vorteil, wirkt sich jedoch nachhaltig auf den Unternehmenserfolg aus. [Glei01]; [Brow97]

*Tabelle 3: Defizite klassischer Kennzahlensysteme (unter Verwendung von [Günt06])*

Die Berücksichtigung der genannten Aspekte führt zu folgenden Anforderungen an die Gestaltung eines neuen Leistungsmesssystems:



- **Ausgewogenheit** zwischen strategischen und operativen, monetären und nichtmonetären, qualitativen und quantitativen sowie Ergebnis- und Treiber-Kennzahlen [Kapl92]
- **Zusammenhang** zwischen den einzelnen Kennzahlen. Ursache- Wirkungs-Beziehungen der Kennzahlen innerhalb einer Leistungsebene, wie auch zwischen verschiedenen Leistungsebenen müssen berücksichtigt werden. Auf diese Weise wird eine Identifikation der Ursachen von sich verändernden Hauptkennzahlen durch die schlüssige Rückverfolgung der Kennzahlen bis auf die unteren Ebenen (Prozesse, Mitarbeiter) ermöglicht (Steuerungs- und Analysefunktion) [Glad05].
- **Zielvorgaben** sollen herausfordernd, lohnend und erreichbar sein [Brow97]. Ziele dürfen nicht willkürlich anhand statistischer Zahlen aus der Vergangenheit gebildet werden, sondern müssen auf Recherchen über die Aktivitäten der wichtigsten Konkurrenten oder auf Benchmark-Studien beruhen.
- **Überschaubare Menge der Leistungsmessgrößen.** Der Datenbestand sollte auf die Schlüsselkennzahlen reduziert werden, die direkt mit dem Erfolg des Unternehmens bzw. der entsprechenden Leistungsebene verknüpft sind. Der einzelne Mitarbeiter kann nach BROWN nicht mehr als 15-20 Kennzahlen ständig im Auge behalten. Auf Entscheider-Ebene sollen maximal 6-7 absolut wichtige Schlüsselkennzahlen nicht überschritten werden. [Brow97]
- Die **Gestaltungsflexibilität** eines Kennzahlensystems im Hinblick auf die Anforderungen eines turbulenten und dynamischen Wettbewerbsumfelds spielt eine wichtige Rolle. Die Notwendigkeit einer Anpassung (Veränderung von Kennzahlen, Aufnahme neuer oder Verzicht auf alte Messgrößen) kann sich dabei aufgrund unternehmensinterner Aspekte (neue Strategie, Organisationsstruktur oder Technologie) wie auch infolge geänderter Rahmenbedingungen im Unternehmensumfeld ergeben. [Reic06]; [Sand04]; [Glei01]; [Brow97]

Die nachfolgende Gegenüberstellung (Tabelle 4) fasst die Unterschiede zwischen Leistungsmesssystemen und herkömmlichen Kennzahlensystemen zusammen.

Traditionelle Kennzahlensysteme	Leistungsmesssysteme
monetäre Ausrichtung (vergangenheitsorientiert)	Kundenausrichtung (zukunftsorientiert)
begrenzt flexibel	aus den operativen Steuerungserfordernissen abgeleitete hohe Flexibilität
Einsatz primär zur Überprüfung des Erreichungsgrads finanzieller Ziele	Überprüfung des Strategieumsetzungsgrads; Impulsgeber zur weiteren Prozessverbesserung

Kostenreduzierung	Leistungsverbesserung
vertikale Berichtsstruktur	horizontale und vertikale Berichtsstruktur
fragmentiert	integriert
Kosten, Ergebnisse und Qualität werden isoliert bewertet	Qualität, Zeit und Kosten werden simultan bewertet
unzureichende Abweichungsanalyse	Abweichungen werden direkt zugeordnet (Bereich, Person)
individuelles Lernen	lernen der gesamten Organisation

*Tabelle 4: Gegenüberstellung Traditionelle Kennzahlensysteme und Leistungsmesssysteme (unter Verwendung von [Klin01a])*

Traditionelle (Erfolgs-) Kennzahlensysteme erfüllen also die genannten Anforderungen nur ungenügend.<sup>4</sup> Seit Ende der achtziger Jahre steht in der englischsprachigen *Controlling*- und *Management Accounting*-Literatur der Terminus *Performance Measurement* für den Einsatz neuer Konzepte und Kennzahlen zur Unternehmenssteuerung. Im Folgenden werden die Begriffe *Performance Measurement* und Leistungsmessung synonym verwendet. Im Mittelpunkt der modernen Leistungsmesssysteme steht die Festlegung eines mehrdimensionalen Zielkatalogs (Meßgrößen verschiedenster Dimension z.B. Kosten, Zeit, Qualität, Innovationsfähigkeit, Kundenzufriedenheit (vgl. [Glei97]) für die effektive und effiziente Steuerung der Prozessleistung (vgl. [Wild97]) und Beurteilung der aktuellen und zukünftigen Leistungspotentiale und -ergebnisse [Sand04]. Die Erstellung bzw. Umstrukturierung eines Kennzahlensystems ist mit einem entsprechenden Zeit- und Kostenaufwand verbunden, trägt aber nachhaltig dazu bei, die Leistung der betrachteten Prozesse zu verbessern und damit den Erfolg des Unternehmens zu steigern.

In den neunziger Jahren wurden eine Vielzahl von Konzepten sowohl im Umfeld der Wissenschaft wie auch in der Beratungs- und Unternehmenspraxis entwickelt [Glei01]. Eine kurze Beschreibung und Bewertung einiger solcher Konzepte erfolgt in Anlage 4. Für eine detaillierte Untersuchung und ausführliche Bewertung der einzelnen Konzepte sei auf die einschlägige Literatur verwiesen [Glad05]; [Sand04]; [Glei01]; [Klin01]; [Kapl97]. Als besonders weit verbreitet und umfassend beschrieben gelten die *Balanced Scorecard*, die *Performance Pyramid* sowie das Konzept von *Hewlett – Packard*. Abbildung 17 zeigt eine vergleichende Beurteilung

---

<sup>4</sup> Neben den Grenzen klassischer Kennzahlensysteme verweist u.a. SANDT [Sand04] auf die Grenzen von Kennzahlensystemen im Allgemeinen. Diesbezüglich können drei Arten von Defiziten unterschieden werden: qualitative (inhaltliche und formale), anwendungsbezogene (mangelndes Wissen der Nutzer), sowie Grenzen der IT und allgemeine Grenzen (Informationsverlust aufgrund der Verdichtung).

der drei Konzepte anhand der genannten Bestandteile und Funktionalitäten eines *Performance Measurement – Systems*.

Kriterium \ Konzept	Strategischer und operativer Bezug	Stakeholderbezog. Zieldifferenzierung	Berücksichtigung Leistungsebenen	Kennzahlenaufbau und -pflege	Modalitäten der Messung	Bewertung & Abweichungsanalyse	Performance Management	Anreiz- & Leistungsbeurteilungssystem	Reporting-Konzept	Institutioneller Rahmen	Einsatz unterst. Instrumente
Balanced Scorecard	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Performance Pyramid	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■
Hewlett-Packard	■	■	■	■	■	■	■	□	■	■	■

**Legende:**

- konzeptionell umfassend berücksichtigt
- konzeptionell berücksichtigt
- konzeptionell kaum/nur bedingt berücksichtigt
- konzeptionell nicht berücksichtigt

Abbildung 17: Vergleich ausgewählter *Performance Measurement*- Konzepte (in Anlehnung an [Glei01])

Die größte Bedeutung wird der *Balanced Scorecard* von KAPLAN und NORTON beigemessen. Zum einen erfüllt dieses Konzept die Kriterien, welche an ein effektives *Performance Measurement*- System gestellt werden am überzeugendsten [Glei01].<sup>5</sup> Zum anderen hat die *Balanced Scorecard* seit ihrer Veröffentlichung sowohl in der betriebswirtschaftlichen Theorie als auch in der Unternehmenspraxis große Beachtung gefunden. Zahlreiche Fachberichte und Publikationen zur Implementierung belegen die breite Akzeptanz dieses Konzepts (vgl. [Glad05]; [Küpp05]; [Glei01]; [Klin01a]; [Webe98]). Im Folgenden soll daher auf das Grundkonzept und die Methodik der *Balanced Scorecard*, aber auch auf Kritikpunkte und Schwierigkeiten bei der praktischen Umsetzung eingegangen werden.

### Balanced Scorecard

1992 veröffentlichten KAPLAN und NORTON in der *Harvard Business Review* das Konzept der *Balanced Scorecard* („The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance“) [Kapl92] als Ergebnis eines Forschungsprojektes welches die Entwicklung eines Kennzahlen- und Führungssystems zum Ziel hatte. Dieses sollte

<sup>5</sup> Dies konnte im Rahmen einer Analyse von GLEICH nachgewiesen werden. Dabei wurden vierzehn *Performance Measurement*- Konzepte anhand der in Kapitel 1.2.2 genannten Kriterien vergleichend beurteilt.

die zahlreichen neuen Möglichkeiten des Informationszeitalters nutzen und dabei der globalen Wettbewerbssituation gerecht werden.

Die *Balanced Scorecard* (BSC) ist heute ein anerkanntes Managementinstrument, welches die Komplexität des „Betriebsgeschehens“ erfasst und auf transparente Teilaspekte für die jeweiligen Anwender reduziert [Kapl97]; [Frie99]; [Horv04]. Die BSC erlaubt, steuerungsrelevante Informationen herauszufiltern und somit ziel- und strategiekonforme Entscheidungen zu treffen [Glei01]; [Frie99]; [Kapl97].

Die Bezeichnung „balanced“<sup>6</sup> steht für die ausgewogene Einbeziehung folgender Kriterien:

- finanzielle und nichtfinanzielle Kennzahlen
- extern orientierte Messgrößen für Teilhaber und Kunden ebenso wie interne Messgrößen für Geschäftsprozesse, Innovationen und Potentiale
- Kennzahlen, welche die Ergebnisse vergangener Tätigkeiten bewerten und solche, welche zukünftige Leistung bestimmen
- objektive, quantifizierbare Ergebniskennzahlen wie auch subjektive Leistungstreiber [Kapl97].

Die BSC ordnet die unterschiedlichen Zielsetzungen und Kennzahlen in vier Perspektiven ein: die finanzielle Perspektive, die Kundenperspektive, die interne Prozessperspektive und die Lern- und Entwicklungsperspektive. Dies ermöglicht einerseits die Orientierung auf die ganze Komplexität der betrieblichen Leistungserstellung, andererseits die Konzentration und Reduzierung auf die wesentlichen Faktoren dieser Beziehungen [Frie99].

Die vier von KAPLAN / NORTON vorgeschlagenen Perspektiven bilden ein Grundgerüst, auf dem jedes Unternehmen sein individuelles Kennzahlensystem aufbauen kann (vgl. [Webe06]; [Joss059]; [Sand04]; [Kapl97]). Die Kennzahlen und Ziele der **finanzwirtschaftlichen Perspektive** fungieren einerseits als langfristige Endziele für die anderen Perspektiven und legen andererseits offen, ob die Umsetzung und Durchführung der Unternehmensstrategie zu einer grundsätzlichen Ergebnisverbesserung beiträgt (vgl. [Meye06]; [Reic06]; [Joss05]; [Glei01]; [Frie99]; [Kapl97]; [Kapl92]). Innerhalb der **Kundenperspektive** wird die Strategie hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Zielmärkte und -kunden betrachtet. Neben allgemeinen Ergebnismessgrößen, wie Markt-/Kundenanteil oder Kundenzufriedenheit, werden ferner spezifische Leistungstreiber (Kundenansprüche) der Kategorien *Zeit*, *Qualität*, *Produktleistung* und *Service* sowie *Preis* berücksichtigt (vgl. [Reic06]; [Joss05]; [Glei01]; [Kapl97]; [Kapl92]). In der **Perspektive der internen Geschäftsprozesse** sind die (kritischen) Prozesse herauszustellen, die zur Erreichung der

---

<sup>6</sup> Der Begriff „Balanced Scorecard“ wird überwiegend als „ausgewogener Berichtsbogen“ übersetzt, ist jedoch im Sprachgebrauch geläufiger als die deutsche Übersetzung (vgl. [Kapl97]).

Kundenanforderungen notwendig sind. Dabei erweist sich ein Prozessmodell, welches beim Kundenwunsch beginnt und bei dessen Befriedigung endet, als besonders hilfreich. In diesem Prozessmodell werden die für die Leistungserstellung relevanten Geschäftsprozesse detailliert betrachtet. Die **Lern- und Entwicklungsperspektive** (auch Potentialperspektive) generiert Maßstäbe hinsichtlich der Potentiale von Mitarbeitern, Systemen und Prozessen, die eine lernende und wachsende Organisation fördern. Diese Perspektive beschreibt also die notwendige Infrastruktur zur Erreichung der Ziele in den anderen BSC – Perspektiven (vgl. [Reic06]; [Glei01]; [Kapl97]). Die treibenden Potentialfaktoren sind oftmals sehr allgemein gehalten und noch nicht so ausgereift wie die Kenngrößen der übrigen Perspektiven (vgl. [Kapl97]).

Darüber hinaus können, entsprechend der jeweiligen unternehmensspezifischen Belange, weitere Perspektiven (vgl. [Joss05]; [Küpp05]; [Sand04]; [Frie99])<sup>7</sup> hinzugefügt, oder unterdrückt werden.

Eine transparente Darstellung von Zusammenhängen und Beziehungen zwischen den Elementen der einzelnen Perspektiven erfolgt in Form von Ursache- Wirkungs-Ketten (UWK) (vgl. [Kapl97]). Diese schaffen die erforderliche Transparenz hinsichtlich der relevanten Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Zielen und Kennzahlen und ermöglichen somit eine prozessbezogene Steuerung und Bewertung (vgl. [Reic06]; [Wagn06]; [Glad05]; [Kapl97]). Die UWK sollten sich dabei durch alle Perspektiven ziehen und dadurch der BSC die Charakteristik eines multidimensionalen Ordnungssystems verleihen (vgl. [Sand04]). Die Verknüpfungen sollten außerdem eine ausgewogene Mischung aus Ergebniskennzahlen und Leistungstreibern enthalten. Werden Ergebniskennzahlen (Spätindikatoren) ohne Leistungstreiber betrachtet, wird nicht erkennbar, auf welche Weise die Ergebnisse zustande kommen. Auch eine frühe Rückmeldung über die erfolgreiche Umsetzung der Strategie ist ohne die Einbeziehung von Leistungstreibern nicht möglich. Umgekehrt ermöglichen Leistungstreiber (Frühindikatoren) zwar die Erreichung kurzfristiger operativer Verbesserungen (Suboptima), zeigen jedoch nicht die Wirkung hinsichtlich des Betriebsergebnisses auf [Kapl97]. Darüber hinaus ist ein Kausalzusammenhang aller Kennzahlen der BSC mit den finanziellen Zielen des Unternehmens unabdingbar. Dadurch wird eine Spezifikation der Auswirkung operativer Leistungsverbesserung auf die finanzielle Leistung (z.B. geringere Kosten) ermöglicht. Es werden also finanzielle Kennzahlen als Ergebnis berücksichtigt, ohne in die verzerrte und enge Sichtweise zu verfallen, die ein ausschließliches

---

<sup>7</sup> Mögliche weitere Perspektiven können sein: Lieferanten-, Kreditgeber-, öffentliche, Umwelt- und Wissensperspektive. Nach JOSSE [Joss05] kann die Erweiterung der klassischen BSC über das Hinzufügen zusätzlicher Perspektiven (additiver Ansatz) oder das Herauslösen und gesonderte Fokussieren bedeutsamer Aspekte (integrativer Ansatz) erfolgen.

Fokussieren auf die Verbesserung kurzfristiger finanzieller Kennzahlen mit sich bringt (vgl. [Kapl97]).

Die Untersuchungsergebnisse einer empirischen Studie von GAISER [Gais04] hinsichtlich der Anwendungserfahrung und –intensität des BSC-Ansatzes zeigen, dass das Konzept der BSC längst noch nicht so stark in den Unternehmen verankert ist, wie man angesichts der Vielzahl an Veröffentlichungen, Fachkonferenzen und Seminaren vermuten könnte (vgl. auch [Webe06b]; [Kump01]). Die Hauptursache dafür ist in Anwendungsproblemen hinsichtlich der Entwicklung und Umsetzung des BSC- Konzeptes im Unternehmen zu sehen (vgl. [webe06b]; [Joss05]; [Glei01]; [Kump01]; [Kapl97]). Die am häufigsten auftretenden Probleme, sowie mögliche Wege zur Vorbeugung bzw. Behebung dieser Punkte sind im Folgenden aufgeführt (Anwendungsgefahren):

- Selektion und Konzentration statt Vollständigkeit (vgl. [Webe06])
- Ausgeglichene Mischung zwischen Ergebniskennzahlen und Leistungstreibern (vgl. [Glad05])
- Verbindung der Messgrößen zu den kritischen Erfolgsfaktoren (vgl. [Brow97])

## **1.2 Handlungsbedarf, Zielsetzungen und Vorgehensweise**

### **Handlungsbedarf in der Karosseriebauplanung**

In Auswertung der analysierten Möglichkeiten der Potentialerschließung in der Fertigungsplanung durch Leistungsmesssysteme in Verbindung mit dem *Virtuellen Karosseriebau*, wird nachfolgend der Handlungsbedarf zusammengefasst.

Im Kapitel 1.1 wurden Herausforderungen an die Planungs-Abteilungen dargestellt. Diese ergeben sich aus dem Anspruch der Kunden nach individuelleren Produkten und dem wachsenden Druck der Märkte. Für die Planung von Karosseriebaufertigungen sind folgende strategischen Ansätze zu berücksichtigen:

1. Die eingeschlagene Derivatstrategie der Hersteller erfordert flexible Karosseriebaulinien, um auch Modelle mit geringeren Stückzahlen wirtschaftlich herstellen zu können. Diese Flexibilität muss im Rahmen der Variantenbewertung berücksichtigt werden.
2. Die Planung von Fertigungsanlagen ist immer mit Unsicherheiten verbunden, was unter anderem eine wissenschaftliche Durchdringung der Bewertungssystematik im Rahmen der fortschreitenden Planung erfordert (z.B. die Nachweisführung zur Vorzugsvariante).
3. Zur Nutzung der Potentiale des virtuellen Karosseriebaus im Leistungsmesssystem ist ein abgestimmtes Datenmodell zu verwenden.
4. Der wachsende Wettbewerb an den Märkten führt zu einem erhöhten Produktivitätsdruck. Insbesondere der Einsatz von Kapital und Personal ist zu

reduzieren. Dazu ist eine präzise, verursachungsgerechte Aufteilung der entstehenden Kosten auf die Prozesselemente erforderlich.

5. Der Produktentstehungsprozess muss hinsichtlich Kosten, Durchlaufzeit und Qualität weiter verbessert werden, auch für die Struktur- und Systemplanung des Karosseriebaus.
6. Die Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Leistungsmessung im Karosseriebau muss für die Planungs-, Umsetzungs- und Betriebsphase gleichermaßen gültig sein. Dies stellt eine durchgängige Leistungsmessung inkl. Informationsrückfluss der teilweise parallel ablaufenden Phasen sicher.
7. Die Ergebnisse der Leistungsmessung müssen in einem Berichtssystem dargestellt werden, welches spezifisch auf die Bedürfnisse des Adressaten zugeschnitten ist.

In der Fertigungsplanung werden unterschiedliche Ansätze verfolgt um den Herausforderungen zu begegnen (vgl. Kapitel 1.1). Darunter ist die Abkehr von den klassischen „Rennerlinien“ (Fertigungslinien auf denen ein Typ in hoher Stückzahl gefertigt wird) hin zu flexiblen Linien, die die wirtschaftliche Herstellung unterschiedlicher Modelle erlauben.

Zur Reduzierung der Investitionen werden Komponenten aus abgeschriebenen Anlagen für das Nachfolgemodell wieder verwendet (Retooling). Im Abgleich mit den Entwicklungsabteilungen werden das Produkt und der dazugehörige Fertigungsprozess nach Modulen gegliedert und standardisiert. Auf diese Weise wird die Komplexität der variantenreichen Fertigung reduziert.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Erreichung der dargestellten Ziele zu leisten, indem die Potentiale der Leistungsmessung und der *Digitalen Fabrik* zusammengeführt werden. Diese werden nachfolgend dargestellt.

In Kapitel 1.1.3 wurde der Stand der Technik in der kennzahlenbasierten Leistungsmessung dargestellt. Folgende Potentiale ergeben sich daraus für die Fertigungsplanung im Automobilbau:

- Standardisierte, standortübergreifende und PEP-begleitende Bewertungsmethodik.
- Transparente Entscheidungsbildung
- Verbesserung der Planungsqualität durch zwischenbetrieblichen Vergleich (Benchmarking). Verbesserung der Kommunikation der Ziele und Förderung der Motivation durch präzise Sollwert-Vorgaben.
- Verkürzung der Planungszeit durch zielgerichtete Soll-Ist-Vergleiche (Schwachstellenanalyse). Aufzeigen von Prozessschwachstellen bereits am virtuellen Fertigungssystem.

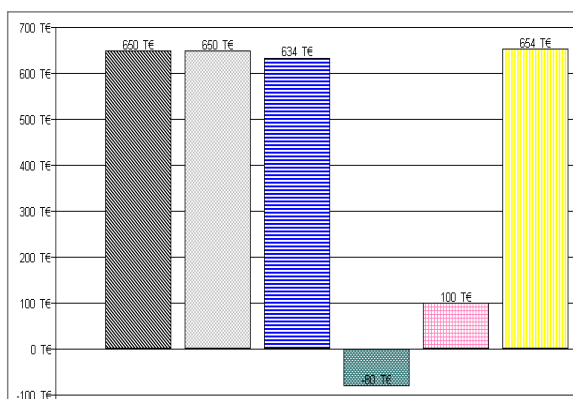
Bei der Beschreibung der Funktionalität moderner, virtueller Planungstools der *Digitalen Fabrik* wurde die Durchgängigkeit des Datenmodells (vgl. auch [Klau02]) in

Entwicklung, Produktion und Fertigung aufgezeigt. Daraus leiten sich folgende Potentiale ab:

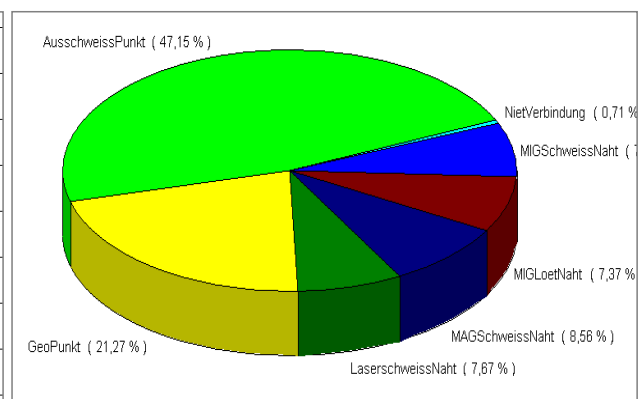
- Verbesserung der Produktbeeinflussung durch die planenden Abteilungen durch frühen Zugriff auf Konstruktionsdaten.
- Verkürzung der Planungszeit durch Simulation und Optimierung am virtuellen Rechnermodell (vgl. [Bull98])
- Möglichkeit zur planungsbegleitenden Erstellung durchgängiger Projektberichte durch die Verfügbarkeit tagesaktueller Produkt- und Prozessdaten in einem System.
- Erhöhung der Planungstransparenz durch standardisierte Dokumentation der Prozessdaten.

Die dargestellten Potentiale zeigen, dass der *Virtuelle Karosseriebau* eine solide Basis für die automatische Erstellung tagesaktueller Planungsberichte bietet (siehe Abbildung 18). Die Kombination aus Datenverfügbarkeit und automatischer Berichterstellung wird derzeit jedoch nicht für eine durchgängige Leistungsmessung über den Planungsverlauf genutzt. Ohne die Verfügbarkeit eines solchen Tools ist eine durchgängige Leistungsmessung jedoch nur theoretisch möglich, da der große Aufwand für Datenpflege, Kennzahlenberechnung, -komprimierung und Berichterstellung manuell nicht durchgeführt werden kann.

#### Kostenverfolgung



#### Verbindungstechnik-Auswertung



#### Auslastungs-Übersicht

Schutzkreis	Taktzeit Soll	Bearbeitungszeit	Auslastung
SK 3	100	67,00	67,00 %
SK 2	100	73,00	73,00 %
SK 1	100	81,00	81,00 %
Durchschnitt:			73,67 %

#### Verfügbarkeits-Simulation

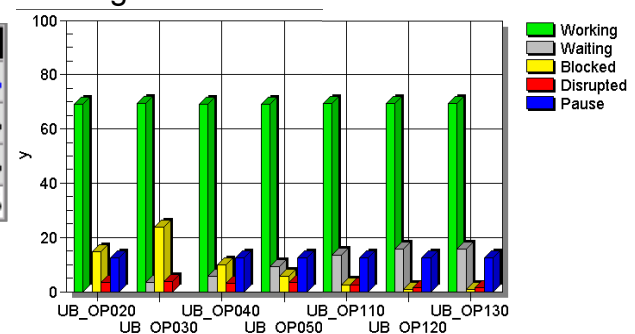


Abbildung 18: Ausgewählte Berichte des Virtuellen Karosseriebaus



## Zielsetzungen

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen Beitrag zur Entwicklung und Umsetzung einer durchgängigen Leistungsmessung in der Grobplanung des Karosseriebaus zu leisten. Die Aufgabe bezieht sich auf die Entwicklung einer Methode und eines Systems zur Leistungsmessung des Karosseriebaus. Nachteile der Leistungsmessung, wie z.B. der hohe Aufwand für die Pflege und Aufbereitung der Daten, sollen durch die Einbindung der Leistungsmessung in ein rechnergestütztes Planungstool behoben werden. Dazu sollen bisher weitgehend ungenützte Potentiale des *Virtuellen Karosseriebaus*: hohe Datenverfügbarkeit, Möglichkeit zur Kennzahlenberechnung und standardisiertes Berichtswesen, ausgeschöpft werden. Durch die Kopplung von „Leistungsmesssystem“ und „Digitale Fabrik“ muss am Beispiel des Karosseriebaus nachgewiesen werden, dass der verfolgte Ansatz zu einer Erhöhung der Planungseffizienz und somit zur Verkürzung der Planungsphase (kürzere Regelkreise in der SE – Arbeit) bei verbesserter Planungsqualität (Produkt und Prozess) wirksam beiträgt.

Die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit umfasst zunächst die Modellierung des Referenzproduktionssystems um aus Sicht der Leistungsmessung verkettete Produktionssysteme parametrieren zu können. Dabei muss auf die Einordnung des Prozessmodells in den Geschäftsprozess des Unternehmens geachtet werden. Für die Leistungsmessung bedeutet dies die Einbeziehung vorhandener Datenmodelle und die Ausrichtung des Leistungsmodells auf bestehende und erprobte Kennzahlensysteme innerhalb der Fabrik (z.B. die Balanced Scorecard). Anschließend erfolgt die Entwicklung eines Kennzahlensystems und einer Methode zur Leistungsmessung für Produktionssysteme am Beispiel des automobilen Karosseriebaus. Dabei wird insbesondere den Anforderungen in der Phase der Grobplanung von Produktionsanlagen Rechnung getragen (vgl. Kapitel 1.1) und die in Kapitel 1.1 beschriebenen Potentiale einbezogen. Die detaillierte Ausarbeitung des Kennzahlensystems erfolgt für den Abschnitt der Grobplanung. Um einen durchgängigen Informationsrückfluss aus laufenden Projekten sicherzustellen wird auf eine Weiterverwendung der erstellten Leistungsmesssystematik in späteren Phasen insbesondere in der Fertigung geachtet.

Um die Ergebnisse des Leistungsmesssystems in die Unternehmens-Organisation zu transferieren wird ein Monitorsystem entworfen, das abhängig vom Berichtempfänger die erarbeiteten Informationen komprimiert und strukturiert zur Verfügung stellt. Dabei wird zwischen dem Leistungsbericht für Entscheider (Variantenbewertung und –auswahl) und Planer (Schwachstellenanalyse der Vorzugsvariante) unterschieden.

Da das erarbeitete Leistungsmesssystem hohe Anforderungen an die Qualität und Verfügbarkeit der Planungsdaten, sowie an deren Umrechnung zu Kennzahlen und komprimierter Darstellung im Monitorsystem stellt, soll das Leistungsmesssystem in einem vorhandenen rechnergestützten Planungstool, dem *Virtuellen Karosseriebau* erfolgen. Dadurch wird ein erhöhter Kapazitätsbedarf vermieden, da keine zusätzliche manuelle Pflege auftritt. Bei der Auswahl der Kennzahlen, die zur

Leistungsmessung herangezogen werden, wird auf die Verfügbarkeit der Daten in den Planungssystemen zu den jeweiligen Abschnitten der Grobplanung geachtet. NIVEN warnt in diesem Zusammenhang vor einer Kennzahlenexplosion bei der Verwendung von IT Systemen [Nive03]; es wird also bei der Kennzahlenauswahl auf Handhabbarkeit (auch Anpassbarkeit) und Verständlichkeit geachtet, weniger auf Vollständigkeit – die notwendige Akzeptanz für ein Kennzahlensystem, das bereichsübergreifend eingesetzt werden kann, führt zwangsweise zu der Forderung nach einem ausgewogenen Kennzahlenportfolio.

Abschließend sollen Funktionsweise und der Nutzen des Leistungsmesssystems in einer Simulation verifiziert und validiert werden. Die Simulation des Leistungsmesssystems an unterschiedlichen Handlungsalternativen aus der unternehmerischen Praxis dient außerdem der Überprüfung der Datenverfügbarkeit, des Kennzahlenbedarfs und der Berechnungsvorschriften der Kennzahlen, die die Basis für die Umsetzung der entwickelten Methodik in den *Virtuellen Karosseriebau* bilden. Die Visualisierung und Aufbereitung der Ergebnisse der Simulation erfolgt anhand des entwickelten Monitorsystems.

### **Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit**

ULRICH und HILL unterteilen die Wissenschaften in Formal- und Realwissenschaften [Ulri79]. Den Realwissenschaften kommt die Aufgabe zu, die Wirklichkeit zu erfassen, zu erklären und zu verstehen [Sach02]. Innerhalb der Realwissenschaften kann zwischen Grundlagenwissenschaften und angewandten Wissenschaften unterschieden werden [Ulri79].

Die praktischen Erfahrungen, die der Verfasser während seiner Tätigkeit als Fertigungsplaner im automobilen Karosseriebau sammeln konnte und die dabei gewonnenen Erkenntnisse über Probleme und Potenziale in der Planung von Fertigungsanlagen, bilden den Entstehungshintergrund der vorliegenden Arbeit. Auch das Ziel des Forschungsprozesses steht in engem Zusammenhang mit der Praxis. Die vorliegende Entwicklung einer Methode zur Leistungsmessung für Produktionssysteme zielt auf die praxisnahe Aufdeckung und Bewertung von Verbesserungspotenzialen und auf das Monitoring deren Umsetzung ab. Die vorliegende Arbeit ist also den angewandten Wissenschaften zuzuordnen. Als Vorgehensweise wird folglich das Phasenkonzept von Ulrich [Ulri01] zugrunde gelegt. Charakteristisch für dieses Konzept ist das enge Einwirken der Praxis auf die Phasen des Forschungsprozesses.

Um das vorgestellte Ziel zu erreichen ist zunächst die Abgrenzung des Betrachtungsumfangs erforderlich. Dazu werden die Schnittstellen des Karosseriebaus im Automobilwerk dargestellt und die Grobplanung im Planungsprozess eingeordnet. Anschließend erfolgt die Definition des Prozessmodells Karosseriebau. Die Modellierung des Produktionssystems dient dazu, das System von vor- und nachgelagerten Prozessen abzugrenzen, zu vereinfachen und vorhandene Inhalte strukturiert darzustellen. Indem die Betrachtung des Fertigungssystems auf das für diese Aufgabenstellung relevante

reduziert wird, wird der Fokus auf die Berechnung von Kennzahlen und die Leistungsmessung gerichtet. Ausgehend von dem Prozessmodell wird das Kennzahlensystem aufgebaut. Dabei entsprechen die Hierarchieebenen des Kennzahlensystems denen des Prozessmodells. Die Kennzahlen leiten sich aus den Eigenschaften der Prozesselemente und den verfolgten Erfolgsstrategien ab, z.B. Flexibilität erhöhen, und Durchlaufzeit reduzieren.

Der Übergang vom theoretischen Kennzahlensystem zum praxistauglichen Leistungsmesssystem inkl. Monitorsystem ist durch die Einschränkung der verwendeten Kennzahlen und durch die Verfügbarkeit von Eingangsdaten und Vergleichswerten in der jeweiligen Projektphase gekennzeichnet. Dies steht häufig im Gegensatz zu den jeweils geforderten Kennzahlen und deren Detaillierung. Es wird aufgezeigt, inwieweit die zu Projektbeginn noch groben Informationen durch sinnvolle Annahmen ergänzt werden können.

In Kapitel 3 wird die Funktionsweise des Leistungsmesssystems exemplarisch anhand einer Simulation erprobt. Dabei werden unterschiedliche Projektstände eines realen Fahrzeugprojekts im Simulator abgebildet und die Methodik zur Leistungsmessung sowie der Nutzen für den Grobplanungsprozess dargestellt. Es wird aufgezeigt, inwieweit das Leistungsmesssystem die Erhöhung der Planungseffizienz unterstützt und dabei die Planungsqualität verbessert (z.B. geringere Herstellkosten). Neben der gezielten Schwachstellenanalyse bietet das Leistungsmesssystem eine Methodik zur Variantenbewertung und sicheren Entscheidungsbildung. Abbildung 19 stellt den Aufbau der Arbeit dar und ordnet dabei die Kapitel den Phasen der angewandten Forschung nach ULRICH [Ulri01] zu.

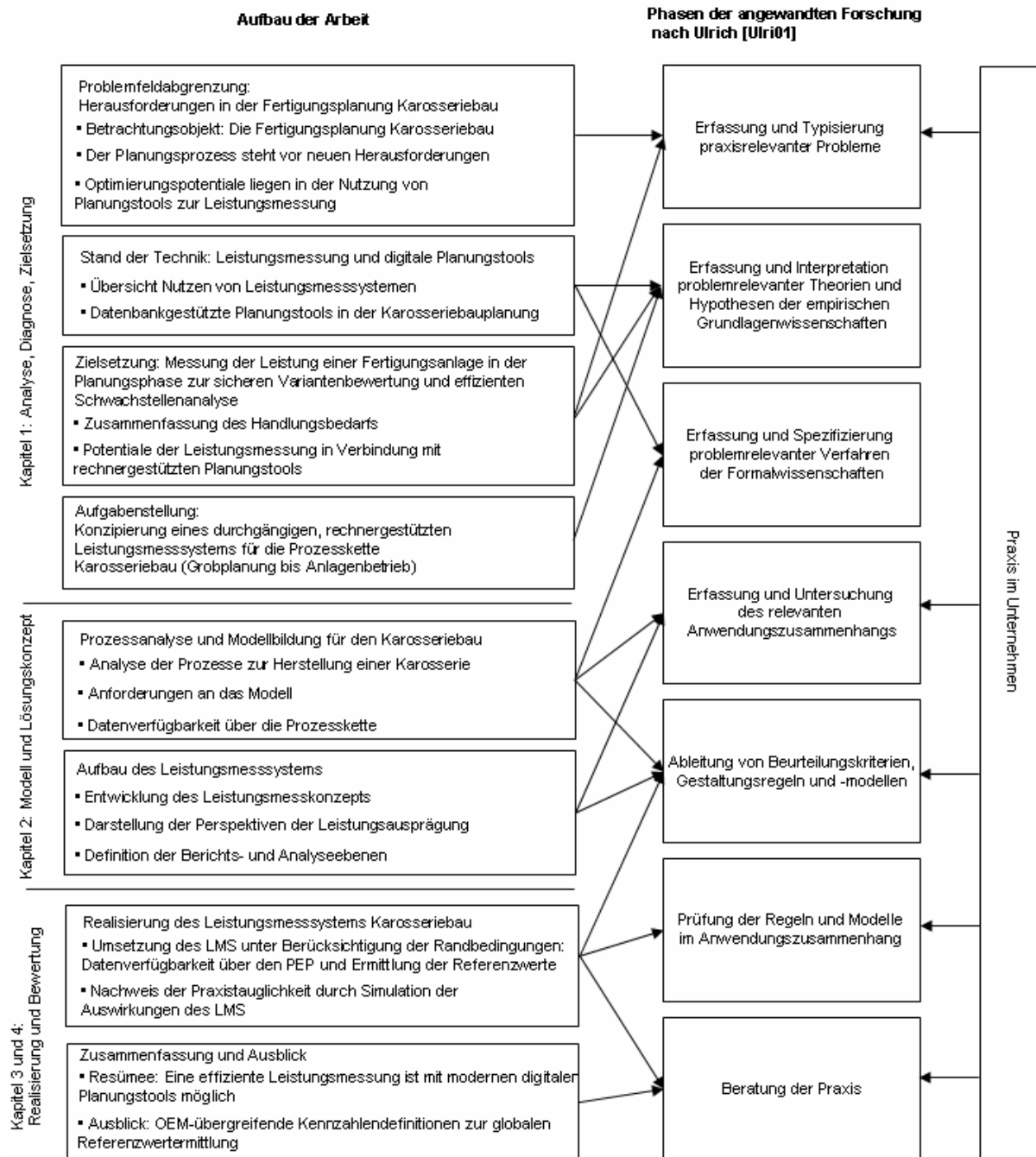


Abbildung 19: Aufbau der Arbeit (unter Verwendung von [Ulri01])

## **2 Prozessmodellierung und Kennzahlensystem**

### ***2.1 Integriertes Informationssystem für den Karosseriebau***

Nach SCHEER ist das Management von Geschäftsprozessen das wichtigste Instrumentarium in der Unternehmensführung [Sche05]. Integrierte Informationssysteme verfolgen das Ziel, die komplexen Organisationen von Industrieunternehmen durch informationstechnische Infrastrukturen zu unterstützen [Schu96] und leisten damit einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der Prozessleistung im Unternehmen. Scheer weist auf die hohe Komplexität von Informationssystemen hin, wenn diese dem Management von Geschäftsprozessen dienen.

Das in dieser Arbeit entwickelte Leistungsmesssystem ist ein integriertes Informationssystem welches aktuelle Informationen über die Leistung des Geschäftsprozesses Fahrzeugkarossenproduktion liefert. Diese kontinuierliche Messung und Verbesserung des Geschäftsprozesses stellt die Basis für eine stetige Steigerung der Prozessleistung dar. Dies führt zu einer nachhaltigen Steigerung des Unternehmenserfolgs (vgl. [Schm06]).

Aufbauend auf den methodischen Grundlagen der Geschäftsprozessmodellierung, wird das Leistungsmesssystem (LMS) für den Karosseriebau entwickelt. Um die Integrierbarkeit des LMS in die bestehende IS-Struktur des Unternehmens zu sichern, wird die IS-Struktur in der Fertigungsplanung berücksichtigt und operativ beispielsweise auf eine objektorientierte Modellierung geachtet.

In Kapitel 2.1 wird zunächst das Modell für den Karosseriebau entwickelt, dabei steht die Reduzierung der Komplexität bei maximaler Informationsverfügbarkeit im Vordergrund. Als Teil des Gesamt-Modells stellt das Leistungsmodell das Gerüst des LMS dar und wird in Kapitel 2.2 mit ausgewählten Kennzahlen gefüllt. Die Verknüpfungen der Kennzahlen und die Vorgehensweise zur Leistungsmessung werden im Leistungsmesskonzept zusammengefasst. Dies stellt für den spezifischen Anwendungsfall Grobplanung von Karosseriebauanlagen den Kern dieser Arbeit dar.

Konsequentem Geschäftsprozessmanagement geht die präzise Erfassung und Modellierung der Geschäftsprozesse voraus [Schm06]. Die Abläufe und Daten eines Unternehmens werden inhaltlich und graphisch erfasst und transparent und verständlich dargestellt. Das Prozessmodell schafft so die Basis für die Analyse, Simulation und Bewertung von Geschäftsprozessen und trägt somit zur Aufdeckung von Schwachstellen und Verbesserung der Prozessleistung bei (vgl. [Delf97]). In diesem Kapitel wird das Modell des Karosseriebaus erstellt. So wird die Komplexität des Gesamtsystems reduziert, der Fokus auf die Aufgabenstellung gerichtet und die Parameter zur Beschreibung der Prozessleistung identifiziert. Aufbauend auf dem der ARIS – Architektur wird der Handlungsbedarf bei der Modellierung dargestellt, die Anforderungen an das Modell definiert und abschließend die Teilmodelle

Prozessmodell und Leistungsmodell erstellt. Dabei werden die in Kapitel 1.1 beschriebenen Entwicklungen in der Leistungsmessung von Unternehmensprozessen sowie die Bedeutung der Tools der virtuellen Fabrik für den Planungsprozess berücksichtigt.

### **Geschäftsprozessmodellierung**

Seit Ende der achtziger Jahre wurde eine Vielzahl von IS – Architekturen entwickelt, bislang konnte sich jedoch noch keine einheitliche Modellierungssprache durchsetzen [Schu96]. IS-Architekturen ermöglichen es, Geschäftsprozesse zu modellieren und schrittweise in IT – Lösungen zu überführen [Sche05]. Für den vorliegenden Fall wird als Modellierungsrahmen das von Scheer entwickelte ARIS – Modell (Architektur integrierter Informationssysteme) verwendet, da es den objektorientierten Ansatz unterstützt und die allgemeingültige Geschäftsprozessdefinition frei von methodischen Abhängigkeiten ist.

Charakteristisch für das ARIS – Konzept ist die ganzheitliche Betrachtung von Geschäftsprozessen. Der Forderung nach Komplexitätsreduktion wird mittels der Zerlegung des Gesamtprozesses in verschiedene Sichten (Darstellung der Sichten in Abbildung 20) Rechnung getragen [Hans05]. Scheer bündelt in den ARIS – Sichten Klassen mit ähnlichem semantischen Zusammenhang und deren Beziehungen. Während die Funktions-, Organisations-, Daten- und Leistungssicht die Systemstruktur beschreiben, werden in der Steuerungssicht alle strukturellen Verknüpfungen der Sichten betrachtet [Sche02] (siehe Abbildung 20).

Das Sichten – Konzept der ARIS – Methodik gilt allgemein für die Abbildung von Geschäftsprozessen. Für die Modellierung eines Produktionssystems können die ARIS – Sichten als Teilmodelle des Produktionssystems gesehen werden [Völk06].

Die Organisationssicht wird durch das **Organisationsmodell** beschrieben. Es beschreibt die Aufbauorganisation des Produktionssystems, beispielsweise die hierarchische Gliederung in Organisationseinheiten, sowie Arbeitszeit- und Schichtmodelle.

Die Steuerungssicht wird in dem **Steuerungsmodell** erfasst, indem die dynamischen Prozesse zur Abwicklung der Geschäftsvorfälle dokumentiert werden.

Die Betrachtung des Produktionssystems aus Daten – Sicht führt zu dem **Datenmodell**. Hier erfolgt die möglichst redundanzfreie Erfassung, Speicherung und Verarbeitung aller relevanten Daten und Einflussgrößen (vgl. [Hans05], [Sche05]). Für die übersichtliche Bereitstellung der Daten schlägt KLAUKE [Klau02] die objektorientierte Strukturierung in die drei Basisklassen (Produkt, Prozess, Ressource) vor. Sämtliche Einflussgrößen des Produktionssystems werden einer der Kernentitäten Produkt, Prozess oder Ressource zugeordnet und mit den dazugehörigen Attributen und Beziehungen erfasst.

Das **Funktionsmodell** stellt den eigentlichen Herstellprozess aus Funktionssicht dar. Mit Hilfe des Prozessmodells werden sämtliche Einflussfaktoren auf den Herstellprozess visualisiert, parametrisiert und vernetzt. Die zur Modellierung der

Prozessstrukturen notwendigen Informationen werden aus den bereits erwähnten Teilmodellen bezogen.

Die bereits erwähnten Modelle beschreiben das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren an der Erstellung des Endprodukts, der Fahrzeugkarosse. Es wird allerdings noch nichts über die Leistung des Herstellprozesses ausgesagt. Diese Bewertung des Produktionssystems aus Leistungssicht erfolgt in dem **Leistungsmodell**. In dem Leistungsmodell wird die Güte der im Prozessmodell beschriebenen Prozesse bewertet, berichtet und Schwachstellen diagnostiziert. Über Soll-Ist-Vergleiche definierte Leistungsmessparameter wird in einem Leistungsmessmodell die Prozessleistung gemessen. Diese Information wird anschließend in einem Monitorsystem komprimiert, graphisch aufbereitet und berichtet. Hierbei liefert das Steuerungsmodell die erforderlichen Vorgabewerte (Sollwerte). Abbildung 20 zeigt, wie die fünf Sichten des ARIS – Hauses.

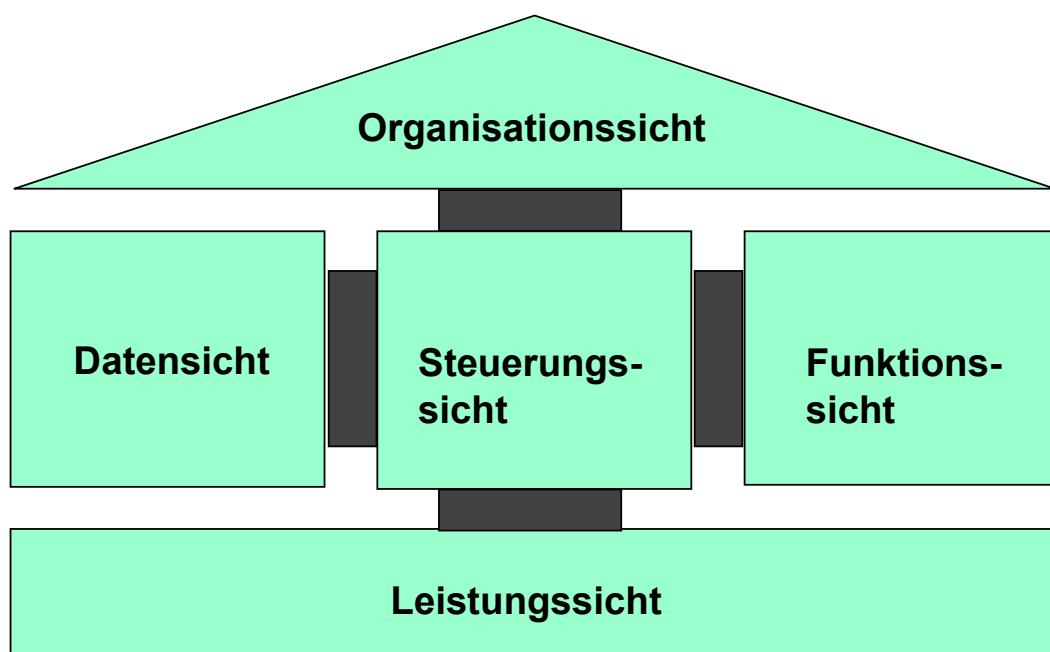


Abbildung 20: Fünf-Sichten-Architektur des ARIS-Hauses [Sche02]

Für das Produktionssystem sind von den beschriebenen 5 Teilmodellen bereits 2 vorhanden. Die statische Beschreibung des Produktionssystems im Organisationsmodell mithilfe von Organigrammen und Stellenbeschreibungen bildet die organisatorische Basis jedes Industriebetriebes und muss daher nicht neu modelliert werden. Auch die dynamische Beschreibung des Produktionssystems im Steuerungsmodell ist vorhanden. Die Abwicklung des Auftragsdurchlaufs ist in Form von Arbeitsanweisungen, Meilenstein- und Fertigungsplänen hinterlegt und kann für den vorliegenden Fall übernommen werden. Zur Beschreibung des Datenmodells müssen die Daten zunächst strukturiert werden. Zwar liegen sowohl in der Planung als auch in der Fertigung eine große Menge an Daten vor, jedoch sind diese in der Struktur und im Datenformat nicht einheitlich. Die Daten, die als Eingangsdaten für die Leistungsmessung erforderlich sind, werden in Abbildung 21 den Daten für die

Simulation nach [VDI 3633] gegenübergestellt. Dieser Ansatz ist von Vorteil, da nach der Entwicklung des LMS die Funktionsweise und der Nutzen in einem Simulationstool aufgezeigt werden sollen. Bei der Definition des Datenmodells ist an dieser Stelle zunächst nur der Datenbedarf dargestellt. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird bei der Umsetzung der Leistungsmessung in die unternehmerische Praxis die Datenverfügbarkeit und der Datenbedarf in der Grobplanung detailliert.

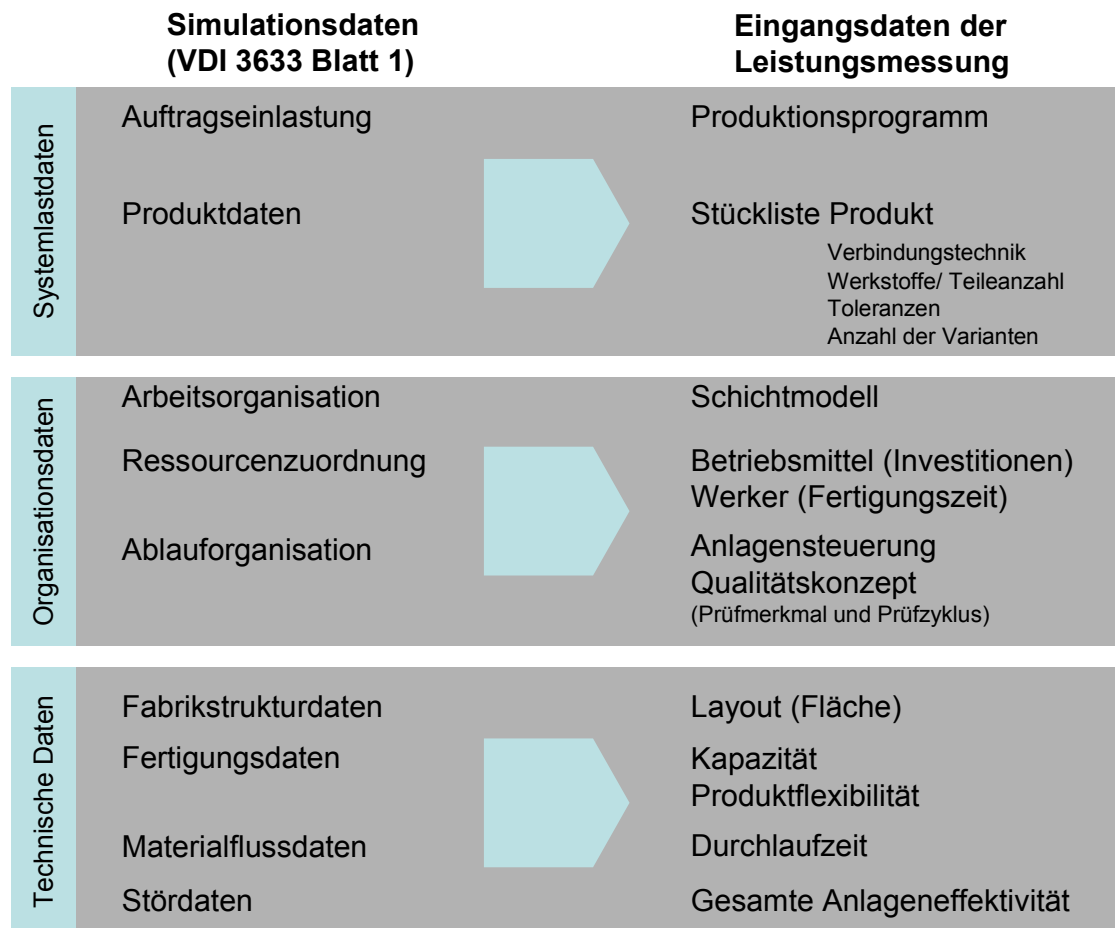


Abbildung 21: Datenbedarf der Leistungsmessung (unter Verwendung von [VDI3633])

Um das Leistungsmesssystem entwickeln zu können sind zwei weitere Teilmodelle aus Abbildung 20 neu zu erstellen. Zwar gibt es für das Prozessmodell im Karosseriebau bereits zahlreiche Ansätze, doch erfüllen diese weder den Anspruch der Objektorientierung noch richten sie Fokus auf die vorliegende Problematik. Für das Leistungsmodell sind für den Karosseriebau noch keine brauchbaren Modelle vorhanden (vgl. Kapitel 1.1). Während das Prozessmodell als Beschreibungsmodell zur Informationsgewinnung dient, stellt das Leistungsmodell ein Entscheidungsmodell dar, das zur Ableitung von Handlungsempfehlungen aus vorgegebenen Zielen, Randbedingungen und Entscheidungsvariablen dient (vgl. [Spur93]). Die Ziele sind dazu aus der unternehmensspezifischen Zielhierarchie abzuleiten.



Die übrigen Teilmodelle, Steuer und Aufbauorganisation, sind bereits vorhanden und erprobt. Von diesen Modellen können zahlreiche Informationen übernommen werden. Die Detaillierung der Wechselwirkungen zwischen den neuen und den bestehenden Teilmodellen erfolgt in den folgenden Kapiteln.

### **Methodische Anforderungen an das Modell**

Ein Prozessmodell soll die Abläufe, Aktivitäten, und Prozesse veranschaulichen bzw. beschreiben und somit zu einer besseren Transparenz aber auch Verständlichkeit komplexer Systeme, wie z.B. von Produktionssystemen beitragen [Spur93]. Dabei hat dieses abstrahierte System das Ziel, den Fokus auf die relevante Problematik zu richten (vgl. [Kara01]). In dem vereinfachten Abbild des real existierenden Systems Karosseriebau werden also nicht alle Elemente und Wechselwirkungen zwischen diesen Systemelementen erfasst [Kett95]. Das Untersuchungsziel gibt den Toleranzrahmen und den Detaillierungsgrad vor (vgl. [Dank95]).

Eine weitere Zielstellung bei der Erstellung des Modells ist der modulare Aufbau des Modells. Die Phase der Modellaktualisierung, die bei jeder Überarbeitung ansteht, kann bedeutend verkürzt werden, wenn Prozessbausteine mit zugewiesenen Tätigkeiten und Ressourcen wiederverwendet werden können [Rein00].

Um das Ziel der Leistungsmessung zu erreichen stehen in dieser Arbeit insbesondere die Fertigungskosten im Fokus. Die Abbildung von Ressourcen und Betriebsmitteln spielt also eine wesentliche Rolle, während Prozesse der Qualitätssicherung zwar betrachtet aber weniger genau modelliert werden (vgl. [Dang01]).

In der vorliegenden Arbeit wird der Karosseriebau betrachtet. Um jedoch durch die Optimierung dieses Bereichs keine gravierenden Verschlechterungen in vor- oder nachgelagerten Bereichen zu bewirken, wird auch die Struktur des Gesamtprozesses betrachtet. Das Verständnis für die Einflussfaktoren, Restriktionen und Leistungsdeterminanten angrenzender Bereiche wirkt den Schnittstellenproblemen entgegen [Glei00]. In diesem Beispiel sind das die Bereiche Presswerk, Logistik, Lack und Montage (vgl. Kapitel 1.1).

### **Prozessmodell Karosseriebau**

Um die vielfältigen Aspekte komplexer Geschäftsprozesse systematisch abbilden zu können, empfiehlt DOMBROWSKI [Domb02] bei der Prozessmodellierung vier Sichtweisen zu berücksichtigen: Die Sicht der Prozesshierarchie, der Prozessabfolge, der Prozessdimension und des Projekts. Im vorliegenden Fall kann die Sicht der Prozessabfolge vernachlässigt werden, da bei der Herstellung einer Fahrzeugkarosse die logische und zeitliche Prozessabfolge durch die Aufbaufolge des Produkts, also der strukturierten Stückliste (auch Fügefolge) festgelegt wird. Die Sichtweise der Prozessdimension wurde bereits dargestellt. Für das vorliegende Beispiel werden die Dimensionen Aktivitäten, Daten und Ressourcen betrachtet, die Dimension Aufbauorganisation wird nicht getrennt betrachtet, sondern ist bereits vorhanden und liefert beispielsweise das Arbeitszeitsystem (auch Schichtmodell) als

Input für das Prozessmodell. Im Folgenden wird mit der Prozessmodellierung aus Sicht der Prozesshierarchie begonnen und anschließend aus Projektsicht die In- und Output-Beziehungen zwischen den Elementen untersucht und die Daten erfasst.

In Anlehnung an NIEß [Nieß93] kann der Karosseriebau als Subsystem der Fertigung gesehen werden, die wiederum ein Subsystem des Gesamtsystems Unternehmen darstellt. Nach der VDI-Richtlinie 3633 können auch die Komponenten eines Systems selbst wieder ein System bilden oder als nicht weiter zerlegbar betrachtet werden [VDI3633]. In dem vorliegenden Fall wird der Karosseriebau als System betrachtet, welches in Systeme niedriger Ordnung hierarchisch gegliedert wird. Durch die geeignete Wahl der Systemgrenzen und die sinnvolle Unterteilung des Systems in Subsysteme und der Subsysteme in Elemente (vgl. [Spur93]) kann die Beherrschung hoher Komplexität erreicht werden (vgl. [Ost93]). Abbildung 22 verdeutlicht die hierarchische Sichtweise des Systems Karosseriebau. Die Gliederung erfolgt in Anlehnung an WIENDAHL<sup>8</sup>, wobei die Betrachtung für das Fallbeispiel auf die Ebenen *Gebäude*, *Bereich* und *Arbeitsplatz* eingeschränkt wird. Da das Hauptaugenmerk bei der Modellierung auf dem Fertigungsprozess liegt, werden diese Ebenen für das Referenz-Produktionssystem abgegrenzt.

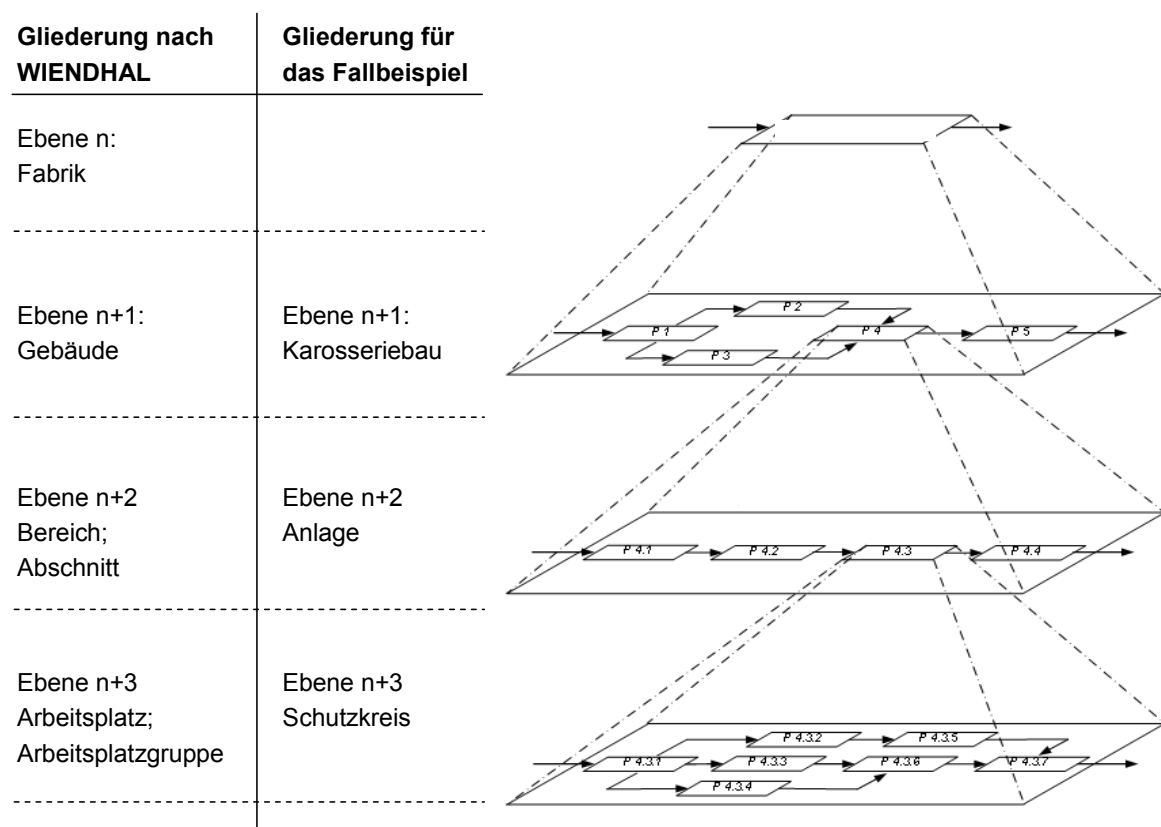


Abbildung 22: Hierarchische Zuordnung des Karosseriebaus nach [Wien96]

<sup>8</sup> WIENDAHL unterteilt die Fabrik in Gebäude, Bereich, Arbeitsplatz und Operation [WIEN96]

Die Tätigkeiten im Karosseriebau, die von den Anlagenbausteinen übernommen werden, können gegliedert werden in: handhaben, fördern, spannen, fügen und messen. Diese Tätigkeiten sollen in einem Element zusammengefasst werden, das als kleinste Karosseriebau-Einheit die Aufgabenfülle dieses Fertigungsbereichs repräsentativ darstellt. Bei der Suche nach der Abgrenzung der Elemente des Karosseriebaus werden drei unterschiedliche Ansätze untersucht. Definition eines Elements als

- Anlagengruppe zwischen zwei Bauteilablagen
- Anlagengruppe innerhalb eines Schutzkreises
- Anlagengruppe welche eine Operation abbildet

Die Erstellung des Modells dient vorrangig der Bewertung der Leistung der jeweiligen Prozessschritte. Die eindeutige Zuordnung der verbrauchten Ressourcen zu jedem Prozesselement hat somit bei der Auswahl der geeigneten Elementengrenzen höchste Priorität und wurde durch die Auswahl der Bewertungskriterien sichergestellt:

- Die beanspruchte Fläche eines Prozesselements kann diesem zugeordnet werden
- Die Personalressourcen können den jeweiligen Elementen zugeordnet werden
- Die erfolgten Investitionen können zugeordnet werden

Die direkte Zuordnung von Energieverbrauch, sowie die Beanspruchung der Dienstleistungen Logistik, Instandhaltung und Qualitätssicherung wurde zwar berücksichtigt, aufgrund des geringen Kostenanteils (siehe Kostenstruktur einer Karosse, Abbildung 4) aber auch eine indirekte Umrechnungsvorschrift zu den verursachenden Elementen als zielführend erachtet.

Nachdem die Tätigkeiten des Karosseriebaus zu Elementen aggregiert wurden, kann die mittlere Ebene des hierarchischen Prozessmodells definiert werden. Dazu wird auf die bereits OEM-übergreifende Gliederung einer Karosse in so genannte Hauptschweißgruppen oder Module zurückgegriffen. Diese fassen einen Umfang von ca. 50 – 60 Teilen zusammen, die in voneinander unabhängigen Anlagen hergestellt werden. Diese sind: Hinterwagen, Mittelboden, Vorderwagen, Seite und jeweils die Anbauteile (Türen und Klappen). Zusätzlich werden die Hauptlinien in denen diese Gruppen zusammengebaut werden als Subsysteme des Systems Karosseriebau betrachtet: Unterbau und Aufbau. Diese Gliederung stellt eine Erweiterung des Ansatzes von DE BOER dar, der eine Gliederung der Karosse in Strukturteile und Außenhautteile vorschlägt, um den Ressourcenverbrauch auf die Verursacher aufteilen zu können [Boer99].

Die Abgrenzung der Elemente und Subsysteme des Karosseriebaus und die Zuordnung zu den Hierarchieebenen ist die Grundlage des Prozessmodells. Im nächsten Schritt werden die Verbindungen dieser Elemente analysiert um diese wieder zu einem Gesamtsystem zusammensetzen zu können. Dabei steht das Zusammenwirken der Produktionsfaktoren zur Erfüllung der Aufgabe und die Transformation von Input in Output für jedes Element im Vordergrund. Abbildung 23

stellt diesen Zusammenhang unter Berücksichtigung, der an der Transformation beteiligten Produktionsfaktoren dar.

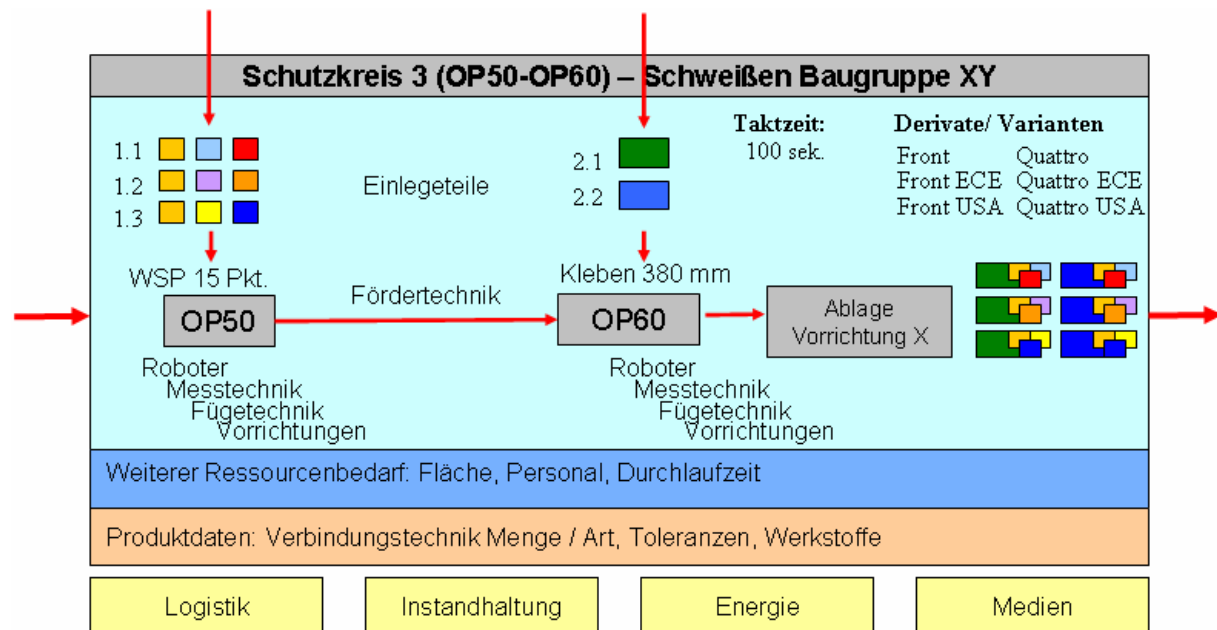


Abbildung 23: In- und Output Darstellung der Prozesselemente

Nachdem die Zielsetzung des Modells definiert und das Prozessmodell entwickelt wurde, werden im Folgenden die Modellelemente mit Daten gefüllt. Dies setzt eine Analyse der Einflussfaktoren voraus.

Um die Erfassung der Parameter für jedes Prozesselement zu strukturieren, werden diese in einem Standarddokument, der Prozessparametermatrix, abgelegt. So wird die Dokumentation der Daten erleichtert, aber auch die automatische Weiterverarbeitung der Daten in dem Leistungsmesssystem ermöglicht. Als Grundlage dieser Datenblätter wurde die Matrixstruktur gewählt, da so auch bei großen Datenmengen die Übersichtlichkeit erhalten bleibt.

Die horizontale Gliederung der Daten in der Prozessparametermatrix in die Basisklassen Produkt, Prozess und Ressource folgt dem objektorientierten Ansatz. Die Aufteilung der Daten in diese Klassen hat sich bereits bei dem Einsatz virtueller Planungstools bewährt (vgl. [Klau02]; [Mala05]). Da das entwickelte Leistungsmesssystem in ein Tool der digitalen Fabrik integriert werden soll, ist bereits zum Zeitpunkt der Datenerfassung und Prozessmodellierung die Berücksichtigung der Datenstruktur des zum Einsatz kommenden Tools eine grundlegende Voraussetzung. Die in Kapitel 2.2 beschriebenen Kennzahlen können – dem objektorientierten Ansatz folgend – als Attribute der Objekte verstanden werden.

Die vertikale Gliederung folgt den Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität. Diese Gliederung stellt sicher, dass bereits zum Zeitpunkt der Prozessanalyse und

Datensammlung eine detaillierte Transparenz der Prozessketten vorhanden ist. So können mit Hilfe der Kennzahlen (siehe Kapitel 2.2) die Prozesse auf Kosteneffizienz, Qualität- und Zeitorientierung überprüft und optimiert werden (vgl. [Reme05]).

Bereits bei der Planung der Anlagen wird der Ressourcenverbrauch den Tätigkeiten, die von dieser Anlage übernommen werden, zugeordnet. Die unterschiedlichen Tätigkeiten einer Anlage wie z.B. das Spannen, Fügen und Fördern der Bauteile unterscheidet sich grundlegend bezüglich der Ressourcentreiber in den jeweiligen Prozessschritten. Der Leistungsvergleich ist aber nur für Prozesse (Prozessschritte) mit ähnlichen Ressourcentreibern sinnvoll. In Kapitel 2.2 wird die Herleitung der Kennzahlen auf Basis der Ressourcentreiber detailliert betrachtet, an dieser Stelle wird daher die Gliederung der Prozessschritte nach den Ressourcentreibern der bedeutendsten Kostenblöcke als Übersicht dargestellt (siehe Tabelle 5).

Kostenkomponente	Detaillierung	Ressourcentreiber
Betriebsmittel (Anlage)	Spannen	Anzahl der Einzelteile
	Fügen	Anzahl der Verbindungsäquivalente
	Fördern	Anzahl der Pufferplätze
	Messen	Anzahl der Funktionsmaße
	Handhaben	Anzahl der Operationen
Personal	Einlegen	Anzahl der Einlegeteile
	Prüfen (zerstörungsfrei)	Anzahl der Verbindungsäquivalente
	Materialbereitstellung	Anzahl der Einlegeteile
	TPM	Gewünschte Verfügbarkeit
Fläche	Fertigungsfläche (netto)	Menge der Verbindungsäquivalente pro Zeiteinheit
	brutto	Strukturelle Restriktionen

*Tabelle 5: Ressourcentreiber der Kostenblöcke: Anlage, Personal, Fläche*

## **Leistungsmodell**

Um die Leistung eines Prozesses eindeutig bewerten zu können, schlagen MENDEN et al. die Festlegung von Messpunkten vor [Mend02]. Aufbauend auf der hierarchischen Gliederung des Prozessmodells werden die Messpunkte für die Leistung den Grenzen der Prozesselemente und Elemente, sowie dem gesamten System Karosseriebau zugeordnet. Bei der Definition der Prozesselemente wurde bereits auf eine klare Zuordnung des Verbrauchs an Ressourcen geachtet. Somit ist auf der untersten Hierarchieebene des Prozessmodells bereits die Messung der Leistung für ein Element möglich.

Die Anzahl der Leistungsmesspunkte entspricht der der Prozesselemente oder Subsysteme der jeweiligen Ebene. Für die oberste Ebene gibt es nur einen Messpunkt, der die Leistung des gesamten Karosseriebaus erfasst.

In Kapitel 1.1.3 wurden die Perspektiven der Leistungsmessung entsprechend der *Balanced Scorecard* dargestellt. Die Bewertung der Leistung eines Unternehmens aus finanzieller Sicht, aus Sicht der Kunden, der internen Prozesse und der Wachstumspotentiale kann auf die Messung der Leistung eines Geschäftsprozesses und seiner Prozesselemente übertragen werden. Jeder Baustein eines Prozesses im Unternehmen leistet demnach einen Beitrag zur Gesamtleistung eines Geschäftsprozesses innerhalb des Unternehmens. Ordnet man nun die Messpunkte des Karosseriebaumodells den Leistungssichten der BSC zu, entsteht ein Leistungsmodell, welches für die einzelnen Prozessbausteine des Karosseriebaus die Leistung aus unterschiedlichen Perspektiven darstellt. Abbildung 24 zeigt den Aufbau des Leistungsmodells.

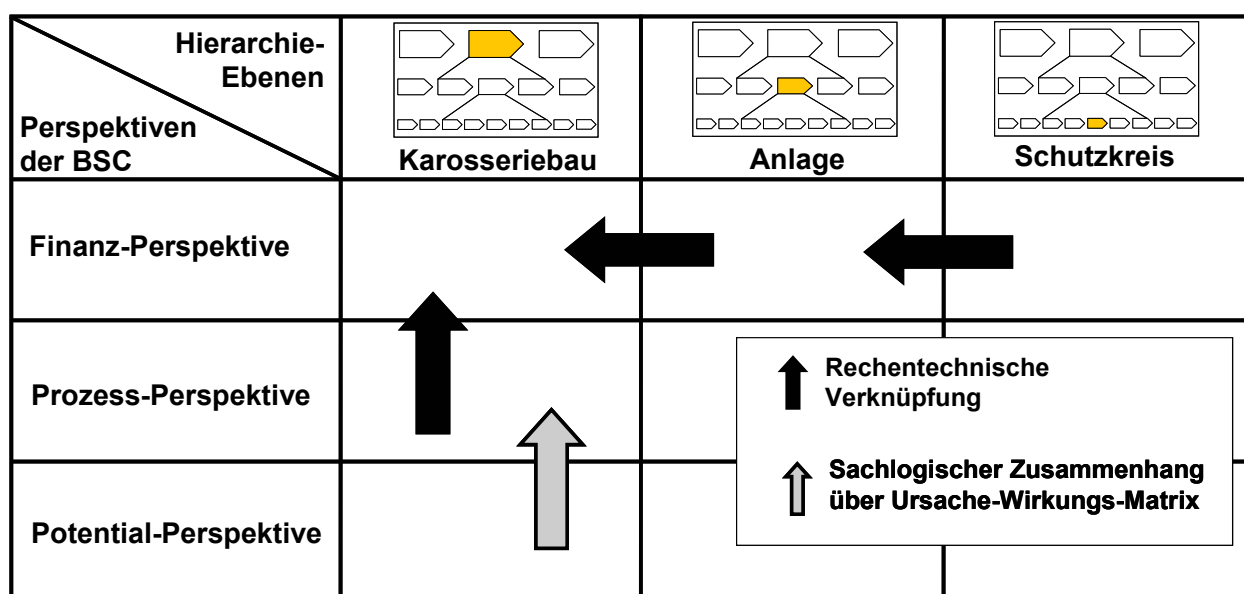


Abbildung 24: Leistungsmodell für den Karosseriebau

Für den externen Kunden (Endkunden) werden im Karosseriebau folgende Eigenschaften festgelegt:

- Fahrzeugfestigkeit (Crasheigenschaften, passive Sicherheit des Fahrzeugs)
- Fahrzeugsteifigkeit (Fahreigenschaften)
- Korrosionsbeständigkeit (Schutz vor Rost, Eindringen von Wasser)
- Qualitätsanmutung (Karossenoberfläche, Spaltverläufe und Bündigkeit)
- Design (Karossenform, schöne Verbindungstechnik im Sichtbereich)

Sämtliche vom Karosseriebau festgelegten Eigenschaften, die die Kundenperspektive darstellen, werden von den Fertigungsprozessen im Karosseriebau definiert. So wird die Qualitätsanmutung der Karosse, also beispielsweise der gleichmäßige Verlauf der Spalte zwischen Karosse und Anbauteilen (Türen und Klappen), von der Präzision der Spannvorrichtungen in den Anlagen festgelegt. Abbildung 25 stellt den Eigenschaften der Kundenperspektive die festlegenden Prozesseigenschaften gegenüber.

## Kundenanforderungen

Festigkeit (Crash)
Korrosionsbeständigkeit
Steifigkeit
Gewicht
Spalte / Bündigkeit



## Prozesseigenschaften

Festigkeitsaudit
Lackiererei
Verbindungsmenge
Entwicklung
Geometrieaudit

Abbildung 25: Gegenüberstellung Prozesseigenschaften und Kundenanforderungen

In der Prozessperspektive des Leistungsmodells wird unter anderem über die Einhaltung der Prozessstandards und der Qualität der Prozesse berichtet. Werden nun die Prozesse, welche die Eigenschaften des Produkts definieren, überwacht, ist die zusätzliche Überwachung der Produkteigenschaften redundant und somit nicht effizient. Für den vorliegenden Fall kann also die explizite Messung der Leistung aus Kundensicht ausgelassen werden, ohne dabei die Produkteigenschaften und somit die Kundenperspektive zu vernachlässigen.

## 2.2 Kennzahlensystem zur Leistungsmessung

Im vorhergehenden Kapitel wurde das Karosseriebaummodell beschrieben und daraus das Leistungsmodell für den Karosseriebau abgeleitet. In diesem Kapitel wird, aufbauend auf den Ergebnissen des letzten Kapitels, das Leistungsmesssystem für den automobilen Karosseriebau entworfen.

Dazu wird zunächst das Leistungsmesskonzept dargestellt. Es wird aufgezeigt, inwieweit das beschriebene Leistungsmodell bei den aktuellen Herausforderungen in der Planung von Fertigungssystemen (siehe Kapitel 1.1) Unterstützung bietet. Von zentraler Bedeutung ist dabei die Methodik, die zur Leistungsmessung in der Grobplanungsphase von Karosseriebauanlagen angewandt werden soll. Diese ist eng mit den Arbeitsabläufen, Aufgaben und Planungsphasen in dem betrachteten Bereich verknüpft.

Anschließend wird explizit auf die einzelnen Perspektiven des entworfenen Leistungsmesssystems eingegangen. Dabei wird das Vorgehen zur Erstellung des Leistungsmesssystems beschrieben, das dann zur Auswahl und Verknüpfung der Kennzahlen in dem Kennzahlensystem führt. Die ausgewählten Kennzahlen der einzelnen Perspektiven werden auf ihre Aussagefähigkeit hinsichtlich des Leistungsbeitrags der zu erfassenden Parameter untersucht. Die Formeln zur Berechnung der Kennzahlen finden sich Anlage 6.

In Kapitel 2.1 wurde das Leistungsmodell dargestellt. Darin sind für jeden Leistungsmesspunkt im Karosseriebaummodell die drei gewählten Perspektiven Finanz, Prozesse und Potential vorgesehen. Es stehen also umfassende Informationen zu den Prozesselementen bis hin zum gesamten Fertigungssystem zur Verfügung. In diesem Kapitel wird hergeleitet, mit welcher Methodik diese Information genutzt werden kann um eine durchgängige Leistungsmessung im Karosseriebau umzusetzen.

[illegible]

Nach WILDEMANN [Wild97] sind die Schritte des Regelkreises:

- Festlegung der Prozessziele
- Zuweisung von Sollwerten zu den Leistungsparametern
- Messung und Kontrolle der Leistung
- Diagnose zur Ermittlung der Ursachen auftretender Zielabweichungen
- Festlegung von Maßnahmen zur Zielerreichung
- Aufbereitung der Messdaten

53



folgt in den folgenden Kapiteln. In der Praxis sind je nach Projektfortschritt unterschiedliche Kennzahlen zur Leistungsmessung verfügbar und zur Entscheidungsbildung bei Meilensteinen erforderlich. In Kapitel 3 wird die Kennzahlenverfügbarkeit und der Kennzahlenbedarf über den Projektverlauf gezielt untersucht und daraus sinnvolle Leistungsparameter zu den einzelnen Meilensteinen definiert. Für dieses Kapitel ist jedoch die Kennzahlenverfügbarkeit in der Praxis von untergeordneter Bedeutung. Es geht vielmehr darum, ein Leistungsmesssystem zu entwerfen, das sinnvolle, handhabbare und aussagekräftige Kennzahlen enthält, deren Wechselwirkungen berücksichtigt werden können (vgl. Anforderungen an Kennzahlen Kapitel 1.1.3).

Die Methode zur Leistungsmessung beruht auf dem Vergleich von Istwerten mit Zielwerten. Dabei liefern unternehmensinterne, wie –externe Leistungsvergleiche (Benchmarking), Planwerte (z.B.: auf Basis von Verkaufszahlen) oder Istwerte aus laufenden und vergangenen Projekten die Zielmarken für die einzelnen Bereiche. In Abstimmung mit der Unternehmensstrategie werden diese an die übergeordneten Ziele des Unternehmens angepasst und als Sollwerte in das Leistungsmesssystem übernommen. Die Sollwerte dienen also der Steuerung der Planungsaktivitäten und werden im Datenmodell strukturiert abgelegt (vgl. Kapitel 2.1).

Die Messung der Leistung erfordert zunächst die Definition von Messpunkten (Messbereichen) und Messzyklen. Für den Karosseriebau entsprechen die Messpunkte den Grenzen der Prozesselemente des Karosseriebaumodells. Die Messung der Leistung soll kontinuierlich erfolgen, um Abweichungen zwischen Ziel- und Istwerten, die außerhalb des Toleranzbereichs (Zielkorridors) liegen, frühzeitig zu erkennen. Diese deuten auf Schwachstellen hin, die im Sinne eines Frühwarnsystems aufgedeckt werden und bei Bedarf steuernde Eingriffe in den Prozess nach sich ziehen.

Um bei Zielabweichungen korrigierend eingreifen zu können, ist die Diagnose – Funktion des LMS von großer Bedeutung. Diese hat zum Ziel, die Ursachen von auftretenden Zielabweichungen zu ermitteln. Sie stellt somit die Voraussetzung für die Ableitung gezielter Steuerungsmaßnahmen zur Prozessoptimierung dar. Die Implementierung der gesamten Leistungsmessung in ein Tool der *Digitalen Fabrik* ermöglicht die kontinuierliche Berechnung, Aufbereitung und den Bericht der Kennzahlen. So ist zu jedem Zeitpunkt die Darstellung der Ursache – Wirkungsketten möglich, die die gegenseitigen Abhängigkeiten der vernetzten Prozessparameter aufzeigen. Die Ursache für eine Zielabweichung auf Ebene des gesamten Karosseriebaus (vgl. Kapitel 2.1) kann so über die Anlagenebene in die Schutzkreisebene verfolgt werden.

Nach der Analyse der Ursachen für eine Abweichung, wird der Handlungsbedarf für die Verbesserung der Prozessleistung definiert (Prozesssteuerung). Eine gezielte Maßnahme zur Beseitigung einer Schwachstelle in der Prozesskette kann beispielsweise die Reduzierung von Laufwegen für das Anlagen – Personal, die Reduzierung von Transportzeiten für die Blech – Einzelteile oder der Tausch unsicherer Fertigungstechnologien gegen erprobte Verfahren sein.

Im Sinne des Regelkreises aus Abbildung 26 wird anhand der resultierenden Messwerte die Wirkung der Maßnahme überprüft und gegebenenfalls die Planwerte angepasst. Dabei wird ebenfalls geprüft, ob nicht die Verbesserung der ermittelten Schwachstelle eine Verschlechterung an anderer Stelle im LMS bewirkt hat. In einem solchen Fall ist ein Zielkompromiss zu finden.

Um eine gezielte und umfassende Informationsversorgung sicherzustellen, werden die Messdaten in einem Monitorsystem aufbereitet. Dabei wird abhängig vom jeweiligen Informationsbedarf des Adressaten (z.B.: Fertigungsplaner oder Entscheider auf Management – Ebene) eine Verdichtung der Daten vorgenommen. Die dargestellten Prozessdaten werden entsprechend der definierten Abweichungstoleranzschwellen z.B. in Ampelschaltungen berichtet. Über den Verlauf eines Projektes ändert sich der Fokus der Betrachtung da jede getroffene Entscheidung den Gestaltungsspielraum begrenzt und den Schwerpunkt der Schwachstellenanalyse verschiebt. Der Leistungsbericht muss also abhängig vom Projektfortschritt auf das jeweilige Informationsbedürfnis zu den unterschiedlichen Planungsphasen und Meilensteinen angepasst werden. Da sich auch die Soll-Werte im Laufe eines Projektes ändern, ist die Darstellung des zeitlichen Verlaufs sowohl der Ist-, als auch der Sollwerte in dem Leistungsbericht insbesondere für die Top – Kennzahlen der obersten Hierarchieebene sinnvoll. Auch die Information über den Trend der Entwicklung der jeweiligen Kennzahlen ist eine wichtige Information zur Entscheidungsbildung und wird vom Monitorsystem zur Verfügung gestellt. Die detaillierte Entwicklung des Monitorsystems für den betrachteten Umfang erfolgt in Kapitel 3. Darin werden die in der Praxis auftretenden Besonderheiten, auf die das Leistungsmesssystem abgestimmt werden muss, berücksichtigt.

Der beschriebene Regelkreis stellt den als *Single – Loop* bezeichneten Regelkreis in Abbildung 26 dar. Dieser dient der Umsetzung der definierten Ziele. Die Überprüfung der Richtigkeit der Ziele erfolgt mit dem zweiten eingezeichneten Informationsrückfluss, dem *Double – Loop – Lernprozess*. Im Rahmen einer lernenden Organisation stellt diese Rückkopplung Messwerte aus der Betriebsphase von Projekten neuen Projekten zur Festlegung der Zielwerte zur Verfügung. So werden mit dem LMS Abweichungen vom Plan nicht nur aufgedeckt, sondern auch als Anlass genommen, um Planungsprämissen nachfolgender Projekte auf Gültigkeit zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen (vgl. [Webe98]; [Gais04]; [Glad05]; [Lasc98]; [Kapl97]).

### 2.2.2 Aufbau des Kennzahlensystems

Das Vorgehen zur Erstellung des KZS lässt sich in drei Schritte gliedern:

- Kennzahlensammlung und Auswahl
- Kennzahlenstrukturierung
- Kennzahlensystematisierung

Der erste Schritt umfasst dabei sowohl die Bestandsaufnahme vorhandener Kennzahlen als auch die Definition sinnvoller neuer Kennzahlen. Die von GÜNTHER [Günt06] durchgeführten Interviews im Bereich Karosseriebau des Fallbeispielunternehmens mit Experten aus den Bereichen Strategieplanung, Fertigungsplanung, Qualitätssicherung und Fertigung ergaben, dass bisher die Leistungsmessung sich lediglich auf die Messung der Produktivität der Ressourcen Personal, Fläche und Kapital beschränken. Dies wurde durch die Auswertung von Berichten aktueller und vergangener Projekte bestätigt. Um die Umsetzung der in Kapitel 1.1.1 beschriebenen Ziele messbar zu machen, müssen also weitere Kennzahlen definiert werden. Dazu wurden neben den Experteninterviews Diskussionsrunden und Workshops durchgeführt. Diese wurden durch eine umfassende Literaturrecherche und eigene Untersuchungen ergänzt. Durch die aktive Teilnahme der Mitarbeiter am Entwicklungsprozess des LMS kann deren spezielles Wissen einfließen und gleichzeitig die Akzeptanz und das Interesse für das System gesteigert werden (vgl. [Küpp05]). Das Ergebnis der Kennzahlensammlung und Definition ist ein Katalog von über 200 Begriffen. Diese werden in einem nächsten Schritt einer Bewertung unterzogen. Dabei werden jene Kennwerte verworfen, deren Aussagegehalt bereits durch einen andere erfasst war (Pendant), die in der Planung nicht beeinflussbar sind, die sich nicht eindeutig definieren lassen oder die lediglich Rahmenbedingungen beschreiben (Projektprämissen). Restriktionen aus der Unternehmenspraxis, wie beispielsweise die systemseitige Verfügbarkeit einer Kennzahl stellen an dieser Stelle noch keinen Ausschlusskriterium dar, da es in diesem Kapitel um die Entwicklung des theoretisch optimalen LMS geht.

Im zweiten Schritt werden die verbleibenden Kennzahlen strukturiert. Damit wird nicht nur eine bessere Übersichtlichkeit der Kennzahlen erreicht, sondern auch die spätere Perspektivenfestlegung der BSC erleichtert. Tabelle 6 stellt drei Ansätze dar, die bei der Wahl der Kennzahlenstrukturierung auf ihre Eignung hin untersucht wurden.

<b>Strukturierungsansatz</b>	<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Objektorientiert (Produkt – Prozess – Ressource)	Strukturierung folgt der Datenstruktur im Datenmodell.	Ergebniskennzahlen werden nicht berücksichtigt. Für Management -Berichte ungeeignet.
Magisches Dreieck (Kosten – Zeit – Qualität)	Finanzkennzahlen sind gut darstellbar	Kennzahlen der Potentialperspektive lassen sich schlecht zuordnen.

Strategische Erfolgsfaktoren (SEF)	Flexible Gestaltung berücksichtigt auch zukünftige Strategien	Hoher Abstimmungsaufwand bei der Festlegung der Erfolgsfaktoren.
------------------------------------	---	--

*Tabelle 6: Ansätze zur Kennzahlenstrukturierung*

Als Strategische Erfolgsfaktoren (SEF) werden diejenigen Faktoren bezeichnet, die den Erfolg eines Unternehmens (-bereichs) maßgeblich beeinflussen [Webe98]. Die Orientierung der Kennzahlenstruktur an den SEF erfährt in der Literatur große Anerkennung, da gut gewählte SEF die Wettbewerbsstrategien und Erfolgspotentiale beschreiben, die die Perspektiven der BSC bestimmen (vgl. [Webe98]; [Brow97]; [Gais04]). Dieser enge Bezug der SEF zu der BSC stellt für die vorliegende Aufgabenstellung den entschiedenen Vorteil gegenüber den anderen in Tabelle 6 dargestellten Ansätzen dar. Gerade die Betrachtung moderner Produktionsstrategien in dem entwickelten LMS stellt eine entscheidende Neuerung gegenüber klassischen KSZ dar, die von den klassischen Gliederungsansätzen *Objektorientierung* und *Magisches Dreieck* jedoch nur unzureichend unterstützt werden.

Die Strukturierung der Kennzahlen entsprechend den SEF verlangt zunächst deren Definition und Abstimmung. Die SEF leiten sich aus den Antworten auf die Frage: „Wie erreichen wir den optimalen Karosseriebau der Zukunft?“ ab. Zur Auswahl der SEF wurden in dem Fallbeispielunternehmen Expertenbefragungen in unterschiedlichen Bereichen durchgeführt. Insgesamt lassen sich aus den Ergebnissen dieser Interviews die folgenden acht strategischen Erfolgsfaktoren festlegen:

- Kosten reduzieren
- Zeit reduzieren
- Effizienz erhöhen
- Qualität erhöhen
- Flexibilität erhöhen
- Standardisierung vorantreiben
- Produktbeeinflussung stärken
- Mitarbeiter zielorientiert motivieren

Zur Auswahl der Faktoren diene der *Horváth & Partners – Filter*, der eine Priorisierung nach den Dimensionen *Handlungsrelevanz* und *Wettbewerbsrelevanz* ermöglicht. Der Faktor *Kundenzufriedenheit erhöhen* wurde nicht explizit aufgenommen, da die vom Endkunden wahrgenommenen Eigenschaften und Funktionen einer Fahrzeugkarosse von den Fertigungsprozessen festgelegt werden (vgl. Kapitel 2.1) und somit von dem SEF *Qualität (Produkt und Prozess) erhöhen* abgedeckt werden (vgl. auch Abbildung 25).

Der dritte Schritt zur Erstellung des LMS umfasst die Systematisierung der Kennzahlen. Ziel ist es ein Verständnis für die Wechselwirkungen innerhalb des

Kennzahlensystems zu schaffen. Dazu muss das Ineinandergreifen der Kennzahlen und Erfolgsfaktoren untersucht werden. Kennzahlen können durch logische, empirische oder hierarchische Beziehungen miteinander vernetzt sein [Küpp05]. Daraus lassen sich zwei Architekturen von Kennzahlensystemen ableiten (vgl. [Meye06]; [Sand04]; [Glad05]; [Brow97]; [Wild97]):

**Rechensysteme** bilden die logischen Beziehungen zwischen Kennzahlen durch mathematische Umformungen ab.

**Ordnungssysteme** stellen die empirischen oder hierarchischen Beziehungen zwischen Kennzahlen anhand sachlogischer Verknüpfungen dar, die sich aus der Analyse der Ursache – Wirkungsbeziehungen ergeben.

Um den in Kapitel 1.2 beschriebenen Anforderungen an das gewünschte LMS gerecht zu werden ist die Architektur des Ordnungssystems besonders geeignet. Insbesondere die Forderungen nach einem ausgewogenen LMS welches flexibel gestaltbar ist, führen zu einer Vielzahl von Kennzahlen unterschiedlicher Dimension, die sich mathematisch nicht miteinander verknüpfen lassen.

Die Gliederung der Kennzahlen im Ordnungssystem setzt zunächst die Erarbeitung der Ursache – Wirkungsbeziehungen (UWB) zwischen den SEF voraus. Dazu wurde die Netzwerktechnik nach GOMEZ und PROBST verwendet (vgl. [Gome99]; [Prob91]). Die Forderung der Autoren nach Ganzheitlichkeit und Offenheit hinsichtlich des vernetzen Denkens wurde jedoch zur Sicherung der Verständlichkeit und Handhabbarkeit des Kennzahlensystems an ausgewählten Stellen nicht berücksichtigt (vgl. [Gais04]):

- Keine explizite Betrachtung externer Faktoren. Die Ausblendung angrenzender Bereiche birgt jedoch die Gefahr der Verfolgung von Lokaloptima, statt des Gesamtoptimums über die Prozesskette (vgl. [Glad05]). Um dies zu verhindern wurden bei der Auswahl der Kennzahlen Wechselwirkungen mit vor- und nachgelagerten Bereichen berücksichtigt. Die Leistungskennzahlen dieser Bereiche sind jedoch nicht in dem hier erarbeiteten KZS enthalten.
- Konzentration auf strategisch beabsichtigte Beziehungen. Nach GAISER [Gais04] ist nicht die Untersuchung der Wechselwirkung eines Ziel auf sämtlicher erdenkbaren anderen Ziele von Bedeutung, sondern vorrangig die Überprüfung der Gründe die zur Auswahl und Formulierung eines Ziels führen.
- Keine Berücksichtigung des Zeithorizonts. Die Kenntnis der zeitlichen Verzögerung bei der Beeinflussung von Kennzahlen untereinander ist bei der Überprüfung der Wirkung von Verbesserungsmaßnahmen von Bedeutung. Für die statische Entwicklung des KZS jedoch ist dies zunächst jedoch nicht zielführend und wurde daher ausgeblendet.

Die Untersuchung der Intensität der Zusammenhänge zwischen den SEF kann in einer Einflussmatrix nach VESTER [Vest80] dargestellt werden. Dabei wird die Beeinflussung (aktiv) bzw. Beeinflussbarkeit (passiv) eines SEF mit sämtlichen anderen (ausgewählten) SEF dargestellt (siehe Abbildung 27).

Einfluss auf von	Kosten	Effizienz	Flexibilität	Produkt- beeinflussung	Standardi- sierung	Mitarbeiter	Zeit	Quali	$\Sigma$ aktiv
Kosten		0	0	0	0	0	0	0	0
Effizienz	2		0	0	0	0	2	0	4
Flexibilität	2	2		0	0	0	1	1	6
Produktbeeinflussung	2	2	2		0	1	2	2	11
Standardisierung	2	1	1	2		1	2	2	11
Mitarbeiter	2	1	2	0	0		2	2	9
Zeit	2	0	0	0	0	0		0	2
Qualität	2	2	0	0	0	0	2		6
$\Sigma$ passiv	14	8	5	2	0	2	11	7	49

**Legende:**

- 0 = kein direkter Einfluss
- 1 = direkter Einfluss
- 2 = sehr hoher direkter Einfluss

Abbildung 27: Einflussmatrix der strategischen Erfolgsfaktoren (die Berechnungsformeln der SEF sind im Anhang dargestellt)

So können Zielkomplementaritäten und Zielkonflikte aufgedeckt werden. Die wichtigste Aussage der Einflussmatrix ist die Festlegung der Aktivität, bzw. Passivität eines SEF, die sich aus der Summierung der Zeilen bzw. der Spalten eines SEF errechnen lassen. Diese Wertigkeiten der SEF werden zur Verdeutlichung in einem Portfolio dargestellt (siehe Abbildung 28). Darin werden die SEF gemäß ihrer „Koordinaten“ positioniert, wobei die Skalierung der Achsen die maximal erreichbare Punktezahl entspricht (in diesem Fall 14). Die Aufteilung des Portfolios ist dabei von zentraler Bedeutung, da nicht die absolute Lage der SEF im Portfolio entscheidend ist, sondern die Lage der SEF zueinander. Die Aufteilung des Portfolios in Quadranten erfolgt also anhand der Berechnung der durchschnittlichen Aktivität und Passivität der SEF (in diesem Fall 6,1).

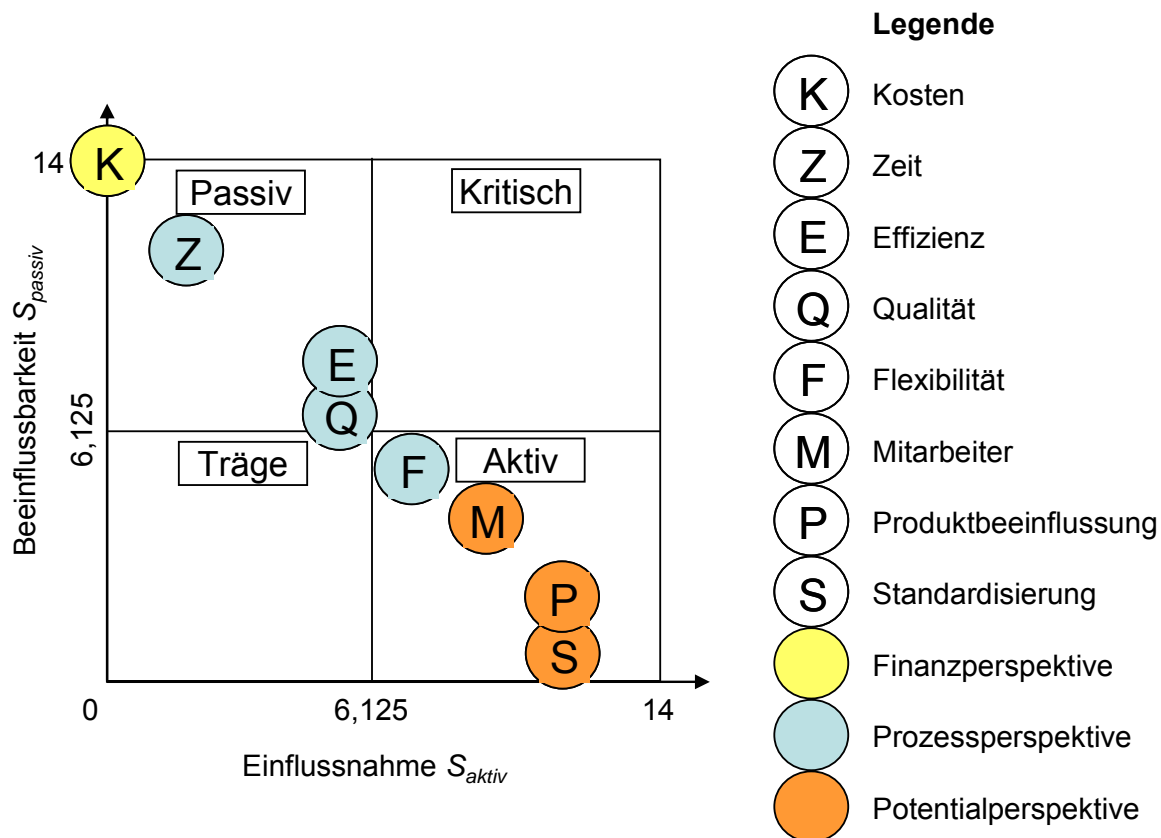


Abbildung 28: Portfolio zur Auswertung der Einflussmatrix

Abbildung 28 bestätigt die sorgfältige Auswahl der SEF. Das Fehlen „träger“ SEF, die sich im ersten Quadranten befinden würden, verhindert, dass Faktoren betrachtet werden, die hinsichtlich ihrer Bedeutung bei Lenkungseingriffen vernachlässigt werden können. Auch eine extreme Lage eines SEF im dritten Quadranten wäre nicht wünschenswert gewesen. Diese als „kritisch“ bezeichneten Elemente sind sowohl stark aktiv als auch passiv und können so unerwünschte Effekte auslösen (z.B. Kettenreaktionen). Sie sind daher für steuernde Eingriffe ebenfalls nicht nutzbar.

Die Lage der SEF im Portfolio zeigt, dass sich die SEF Standardisierung, Produktbeeinflussung, Mitarbeiter und Flexibilität als überdurchschnittlich aktive Elemente den Treibergrößen zuordnen lassen. Die Elemente Qualität, Effizienz, Zeit und Kosten zählen als reaktive Elemente zu den Ergebnisgrößen.

Anhand dieser Ergebnisse wird die gewünschte Zielhierarchie für das Ordnungssystem festgelegt. Dabei werden die SEF hinsichtlich ihres Zielbeitrags zu den strategischen Zielen des Unternehmens den drei Perspektiven der BSC zugeordnet (vgl. Leistungsmodell in Kapitel 2.1).

- Finanzperspektive: Kosten
- Prozessperspektive: Zeit, Effizienz, Qualität
- Potentialperspektive: Flexibilität, Mitarbeiter, Produktbeeinflussung, Standardisierung

Diese Zielhierarchie ist für jede hierarchische Ebene des Prozessmodells (vgl. Kapitel 2.1) und somit des Leistungsmodells (Leistungsebene) gültig. Die Zusammenhänge zwischen den Leistungsebenen werden nach GLADEN [Glad05] mit der Ableitung von Zweck – Mittel – Beziehungen beschrieben. Dabei fördert die Erfüllung eines Ziels auf einer niederen Leistungsebene die Erfüllung des Oberziels in einer höheren Ebene. So fördert beispielsweise die Erhöhung der Auslastung eines Roboters auf Schutzkreis – Ebene die Erhöhung der Produktivität auf Anlagen – Ebene und somit die Reduzierung der Kosten auf der obersten Karosseriebau – Ebene. Abbildung 29 stellt diese Zusammenhänge dar.

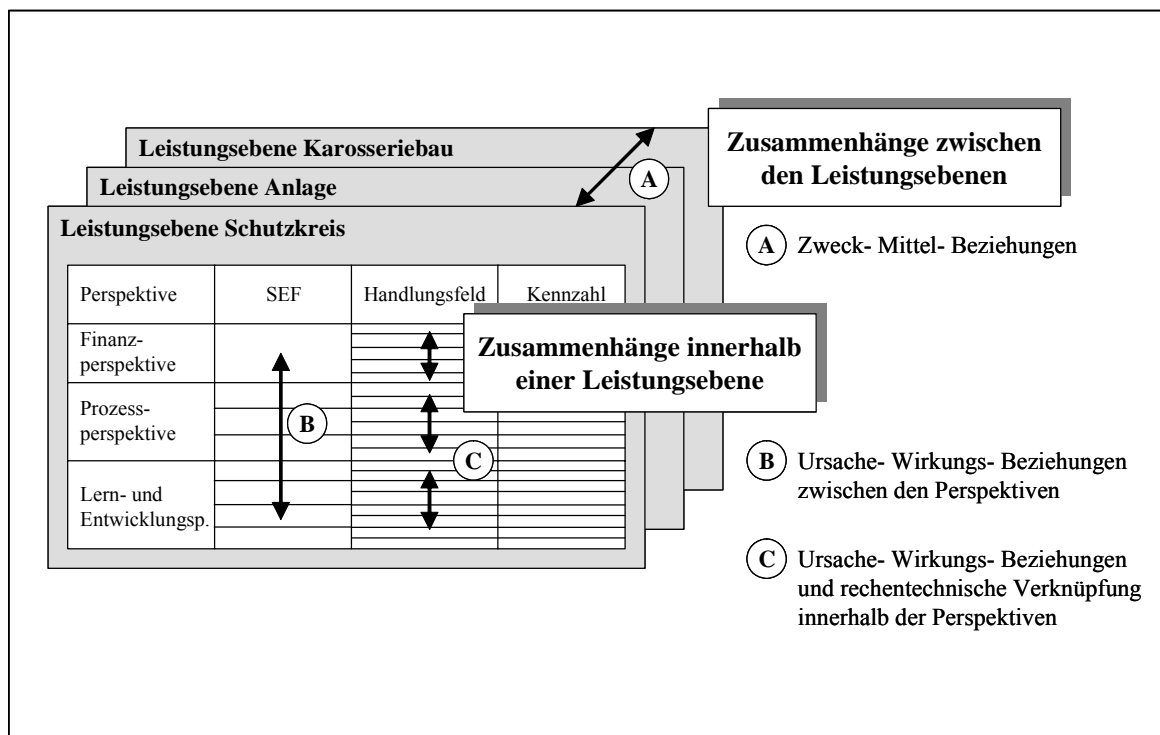


Abbildung 29: Zusammenhänge der Kennzahlen im erstellten Ordnungssystem

Das entwickelte Ordnungssystem berücksichtigt durch den hierarchischen Aufbau die drei Leistungsebenen des Karosseriebaus und beschreibt diese jeweils mit den acht strategischen Erfolgsfaktoren. Diese sind den drei Ebenen der BSC zugewiesen. Dieses Kennzahlensystem trägt zu einer umfassenden Prozessleistungsmessung und Leistungssteuerung bei, indem es die Kausalität der Zusammenhänge beschreibt und so Hebelwirkungen aufzeigt. Die empirisch – induktive Ermittlung der Ursache – Wirkungsketten ist jedoch subjektiv, da die Zusammenhänge zunächst aus der Erfahrung heraus geschätzt sind. Eine Validierung der Ergebnisse in der Unternehmenspraxis ist also erforderlich. Dabei muss nach GAISER die „Konsistenz“ des LMS mit den Unternehmenszielen verifiziert werden [Gais04]. Dieser Nachweis wird in Kapitel 3 erbracht.

In den folgenden drei Kapiteln wird die Untersuchung der Zusammenhänge der einzelnen Kennzahlen innerhalb der Perspektiven beschrieben. Die Ordnung der Kennzahlen innerhalb der SEF erfolgt analog der Gliederung der SEF untereinander



über die Ergebnisse der Einflussmatrix (vgl. Abbildung 27). Die Einflussmatrizen der einzelnen SEF sind in Anlage 5 dargestellt. Ebenfalls in der Anlage dieser Arbeit (Anlage 6) finden sich die detaillierten Berechnungsformeln der einzelnen Kennzahlen, sowie eine Übersicht der Einflussfaktoren und Aussagefähigkeit der Kennzahlen. Zur Verbesserung der Leserlichkeit wurde auf eine Abbildung der Formeln im Fließtext verzichtet.

### 2.2.3 Finanzperspektive

Die Kostenorientierung stellt einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar. Um den finanziellen Spielraum eines Unternehmens zu erhalten, ist insbesondere auf ein wettbewerbsfähiges Kostenniveau zu achten. Für den Karosseriebau lenkt die finanzielle Perspektive des LMS die Aufmerksamkeit auf die entstehenden Kosten eines Fahrzeugs beim Durchlaufen dieses Fertigungsbereichs. Es ist also der Anteil des Karosseriebaus an den Vollkosten einer Karosse zu ermitteln. Tabelle 7 stellt die Kostenarten dar, die im Rahmen dieser Arbeit betrachtet wurden.

<b>Fixkosten</b>	<b>Variable Kosten</b>
Kalkulatorische Abschreibungen	Personalkosten
Kalkulatorische Zinsen	Sonstige Kosten (Kosten für: Instandhaltung und Wartung, Logistik, Prüfen, Energie und Medien, Verbrauchsmaterial)
Raumkosten	

*Tabelle 7: Kostenarten im Karosseriebau (Vollkostenbetrachtung)*

Da die Kostenberechnung Hinweise auf Potentiale geben soll, ist insbesondere die Kontrolle der Gemeinkosten von Bedeutung [Kapl97]. In diesem Fall die präzise Zuordnung der *Sonstigen Kosten* (siehe Tabelle 7) zu den produzierten Karossen.

Die Produktkalkulation verfolgt das Ziel, die Kosten betrieblicher Leistungen verursachungsgerecht den Produkten zuzuordnen [Pfoh91]. Da in dem vorliegenden Fall fixe und variable Kosten berücksichtigt werden, kann darüber hinaus die Berechnung der Kosten pro Karosse als Vollkostenrechnung bezeichnet werden. Nach BAIER [Baie02] werden in der Automobilindustrie vorrangig drei Verfahren zur Produktkalkulation eingesetzt:

- Zuschlagskalkulation
- Maschinenstundensatzrechnung
- Prozesskostenrechnung

Die Zuschlagskalkulation basiert auf der Annahme, dass sich die Gemeinkosten weitestgehend proportional zu den Einzelkosten verhalten. Die Gemeinkosten werden also proportional zu den Einzelkosten den Produkten zugeschlagen (vgl. [Habe98]). REMER beanstandet dabei, dass die Produkte unzutreffend belastet werden, falls diese die Anlagen einer Kostenstelle ungleichmäßig beanspruchen (vgl. Reme05]).

Als ein Vertreter der Zuschlagskalkulation werden bei der Maschinenstundensatzrechnung die Fertigungskosten differenzierter verrechnet. Anstelle der Wertschlüssel wird ein Mengenschlüssel eingesetzt, um die nach Maschinen aufgegliederten Gemeinkosten zu verrechnen (vgl. [Steg01]). Diese werden einem Produkt entsprechend der von ihm in Anspruch genommenen Maschinenstunden zugeschlagen. Mit der wachsenden Automatisierung in der Automobilindustrie hat sich der Anteil der Gemeinkosten an den Herstellkosten erhöht. Dem trägt die Maschinenstundensatzrechnung Rechnung, indem Gemeinkosten den Kostenträgern verursachungsgerechter als bei der Zuschlagskalkulation zugeordnet werden.

Das jüngste Verfahren der Kostenrechnung ist die Prozesskostenrechnung. Im Gegensatz zu den traditionellen Verfahren, wird dabei nicht davon ausgegangen, dass die Produkte Kosten verursachen, sondern die Prozesse. Die Prozesse verbrauchen Ressourcen und verursachen damit Kosten [Reme05]. Bei der Prozesskostenrechnung wird das Betriebsgeschehen ablauforientiert in Teilprozesse zerlegt und nicht funktional in Kostenstellen (vgl. [Baie02]). Die von einem Prozess verbrauchten Ressourcen werden auf die Produkte umgerechnet; als Bezugsgröße werden die Kostentreiber herangezogen [Schn96]. Im Gegensatz zur Maschinenstundensatzrechnung können somit nicht nur anlagenspezifische Gemeinkosten, sondern auch weitere Kostenarten (Logistikkosten, Prüfkosten...) berücksichtigt werden. Die Prozesskostenrechnung untersucht die Kostenwirkung von Ressourcen und Prozessen um eine verursachungsgerechte Kostenzuordnung zu schaffen. Die vorliegende Aufgabenstellung, die sich auf die Analyse und Bewertung von Prozessketten in der Fertigung bezieht, macht präzise Informationen über die Kostenentstehung erforderlich. Diese Prozesskostenrechnung ist dafür am geeignetsten, da sie die höchste Kostentransparenz bietet.

Neben den beschriebenen Vollkosten einer Karosserie werden auch deren Komponenten als Kennzahlen in die Finanzperspektive aufgenommen. Dabei treten jedoch an Stelle der Abschreibungen auf Investitionen und der Zinsen, die Investitionen selbst als Kennzahlen auf. Diese werden nochmals in die Anlagenklassen Roboter, Fügetechnik, Messtechnik, Fördertechnik und Spanntechnik unterteilt. Die Zusammensetzung der Investitionen ist sowohl für die verursachungsgerechte Zuweisung der Gemeinkosten, als auch für die Analysefunktion des LMS von großer Bedeutung. Die Zusammensetzung der Vollkosten ist ebenfalls für das Kennzahlensystem von Bedeutung, da somit die Aufdeckung von Potentialen ermöglicht wird. Die Kennzahlen der Finanzperspektive sind in *Abbildung 30* dargestellt.

Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Formelzeichen	Einheit
Kosten	Kosten reduzieren			
	Herstellkosten reduzieren	Herstellkosten	$HK$	€/Fzg.
	Fixe Kosten reduzieren			
	Anlagen-Invest reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	$I_{ges}$	€/Fzg.
	Invest Roboter	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	$I_{Rob}$	%
	Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	$I_{FüTechnik}$	%
	Invest Messtechnik	Anteil Invest für Messtechnik am Gesamtinvest	$I_{MessTechnik}$	%
	Invest Fördertechnik	Anteil Invest für Fördertechnik am Gesamtinvest	$I_{FöTechnik}$	%
	Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest	$I_{SpTechnik}$	%
	Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	$K_{Fläche}$	€/Fzg.
	Variable Kosten reduzieren			
	Personalkosten reduzieren	Kosten für Personal	$K_{Personal}$	€/Fzg.
	sonstige Kosten reduzieren	Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten	$K_{Sonst}$	%

Abbildung 30: Finanz-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6)

### Vollkostenberechnung

Den Ausgangspunkt für die Prozesskostenrechnung bilden die Kostentreiber. Sie sind die Bezugsgrößen für die Verrechnung der anfallenden Gemeinkosten. Die Kostentreiber werden in 2 Arten unterteilt. Die *Ressourcentreiber* verknüpfen die anfallenden Kosten mit den Prozessen und bilden somit einen Maßstab für die Kostenverursachung. Die Prozesskostentreiber verbinden die Prozesse mit den Produkten (Kostenträgern) und dienen als Maßstab für die Zurechnung der Kosten auf die Produkte [Burg99]. Die Verrechnung des Aufwands über die Prozesse auf die Produkte erfolgt also in zwei Stufen (vgl. [Schn96]). Die so entstehenden Kosten werden auf sachlich zusammenhängende Teilprozesse verdichtet. Diese werden als Hauptprozesse bezeichnet und entsprechen in der vorliegenden Arbeit den Prozesselementen aus dem Prozessmodell. Über die Prozesselemente erfolgt die Kalkulation der Kosten zu den Karossen.

Für jede betrachtete Kostenart wurde im Fallbeispielunternehmen der Ressourcentreiber und der Prozesskostentreiber ermittelt. So lässt sich beispielsweise die Ressource *Produktionsfläche* über den Ressourcentreiber *Größe der genutzten Fläche* in Flächenkosten eines Prozesselements umrechnen. Diese Kosten werden dann über den Prozesskostentreiber *Anzahl der Fahrzeuge* in die Flächenkosten pro Prozesselement und Fahrzeug aufgeteilt. Die Analyse der Ressourcentreiber und Prozesskostentreiber für jede einzelne Kostenart ist im Fallbeispielunternehmen im Rahmen einer Diplomarbeit untersucht worden. Aufgrund des großen Umfangs der Auswertungen wird auf eine explizite Abbildung an dieser Stelle verzichtet und auf [Korl06] verwiesen. Eine Übersicht der Ressourcen und Kostentreiber im Karosseriebau ist in Anlage 1 dargestellt.

Um die Vollkosten der Prozesselemente nun berechnen zu können, aber auch um Referenzwerte für das in Kapitel 3 verwendete Simulationstool zu schaffen, wurden für den Ressourcenverbrauch der Betriebsmittel und der Dienstleistungen Durchschnittswerte berechnet. So wurde beispielsweise der Verbrauch der Ressource *Energie und Medien* für das Setzen eines Schweißpunktes berechnet. Dieser setzt sich aus dem Energieverbrauch für Zangenkühlung, Schweißen,

Leerlauf, Zangenantrieb und Kappenfräser, sowie aus dem Druckluft und Kühlwasserverbrauch zusammen. Über die Anzahl der Schweißpunkte eines Schutzkreises werden dessen Kostenanteile für das Widerstandspunktschweißen der Karosse zugeordnet. Die detaillierte Untersuchung der Kostenverrechnung für sämtliche Parameter eines Prozesselements wurde im Fallbeispielunternehmen exemplarisch durchgeführt und ist in Anlage 2 dieser Arbeit abgebildet.

Über die erarbeiteten Verrechnungsvorschriften können die im Karosseriebau anfallenden, relevanten Kosten der Schutzkreise berechnet werden, zu Anlagen- oder Karosseriebaukosten aggregiert werden und den unterschiedlichen Fahrzeugtypen je nach Prozessbeanspruchung zugeteilt werden. Abbildung 31 stellt die Kostenentstehung und –zusammensetzung am Beispiel der Fertigungsanlage *Boden Hinten* einer Fertigungsline des Fallbeispielunternehmens dar. Insbesondere die Erfassung der *Sonstigen* Kosten, die bisher bei Bewertungen unbeachtet blieben, können nun beanspruchungsgerecht zugeordnet werden

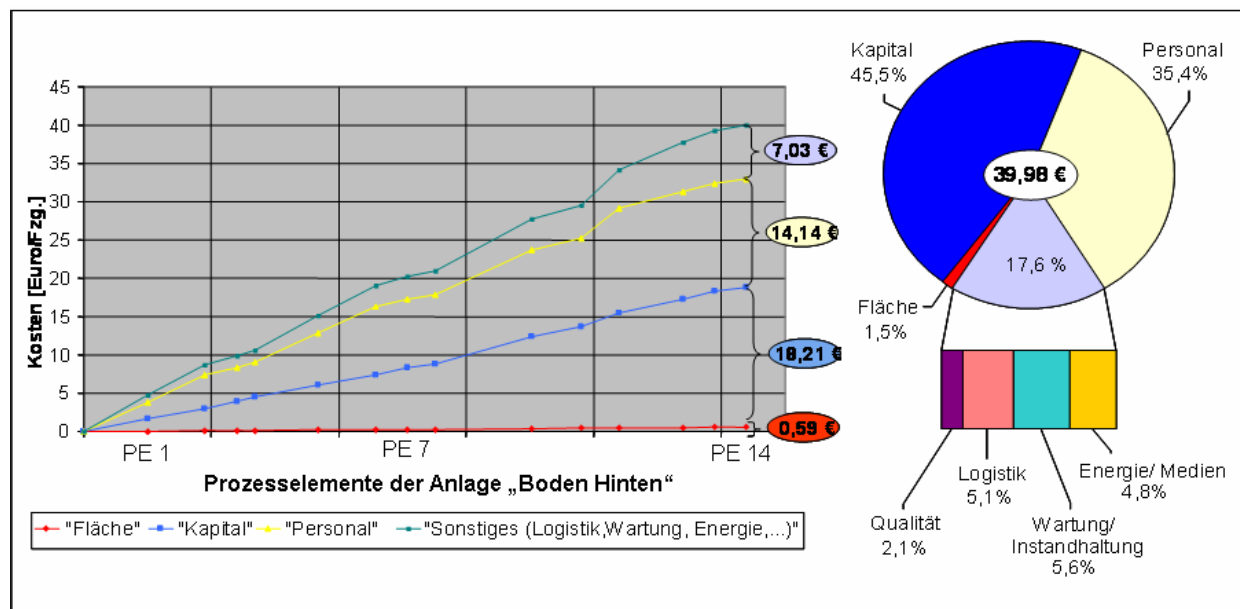


Abbildung 31: Vollkostenberechnung einer Schweißgruppe [Korl06]

### Darstellung der Kosten über die DLZ

Nach SPATH [Spat00] ist davon auszugehen, dass jede Beschäftigung, die in Zusammenhang mit dem Herstellprozess steht, Kosten und Zeit beansprucht. So kann auch jedem Prozesselement des Karosseriebaumodells neben den bereits beschriebenen Kosten ein Zeitverbrauch zugeordnet werden. Dieser wird mittels der Durchlaufzeit eines Prozesselements beschrieben und setzt sich aus der Summe des Zeitverbrauchs der einzelnen Tätigkeiten zusammen (siehe Definition Anlage 6). Die einzelnen Prozesselemente werden entsprechend ihrer „Koordinaten“ in einem Kosten – Durchlaufzeit – Diagramm aufgetragen. Abbildung 32 zeigt diese Darstellung am Beispiel einer Anlage für die Herstellung des hinteren Bodens einer Karosse aus dem A – Segment.

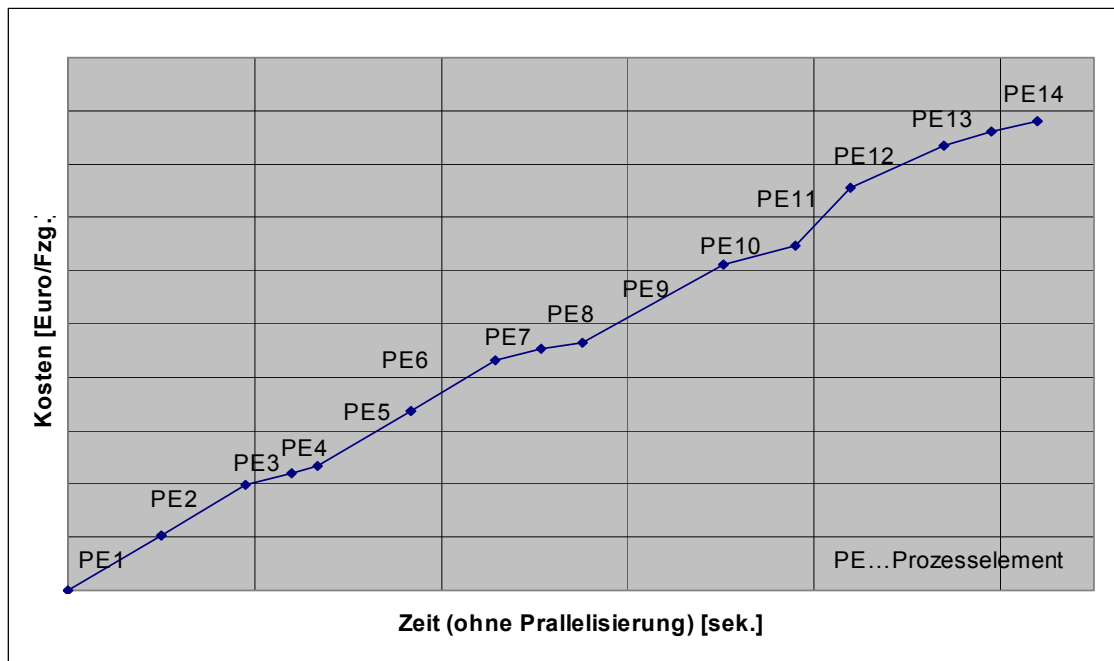


Abbildung 32: Kosten – Durchlaufzeit – Diagramm am Beispiel einer Anlage im Karosseriebau

In der Fertigung werden zur Reduzierung der Durchlaufzeit aus Sicht des gesamten Karosseriebaus Prozesse untergeordneter Ebenen parallelisiert. Damit das Diagramm jedoch seine Aussagekraft beibehält, müssen diese parallel ablaufenden Prozesse sequentiell dargestellt werden. Die Kurve kann zur Schwachstellenanalyse herangezogen werden, indem gezielt steile und flache Kurvenabschnitte, sowie lange und kurze Abschnitte hinterfragt werden. Auch die Unterschiede im Gesamtverlauf unterschiedlicher Kostenträger (z.B. unterschiedlicher Varianten eines Produkts) können aufschlussreiche Hinweise auf Schwachstellen im Prozess liefern (siehe Produktkomplexität in Kapitel 2.2.5). Mithilfe der zugrunde liegenden Daten können die Gründe für den Kurvenverlauf ermittelt werden und Verbesserungsmaßnahmen definiert und auf ihre Wirkung überprüft werden (vgl. [Kara01]).

#### 2.2.4 Prozessperspektive

Nach der Betrachtung der Kosten in der Finanzperspektive erfolgt in diesem Kapitel die Darstellung der Prozessperspektive in der BSC. Den Kosten kommt in dem LMS eine besondere Bedeutung zu, da sie als reine Ergebnismessgrößen den Bezugspunkt aller anderen Perspektiven darstellen [Webe98]. Daraus schließt WEBER, dass nicht Kosten, sondern Prozesse optimiert werden müssen [Webe97]. Bei der Optimierung von Prozessen in der Produktion spielen die SEF *Zeit*, *Effizienz* und *Qualität* die entscheidende Rolle. Während früher der bestehende Zielkonflikt zwischen Kosten, Zeit und Qualität häufig als Teufelskreis dargestellt wurde, geht man heute davon aus, dass sich diese Ziele sogar gleichzeitig verbessern lassen, sofern sie im Sinne eines Gesamtoptimums verfolgt werden [Wild04]. Die Kennzahlen der Prozessperspektive sind in Abbildung 33 zusammengefasst.

Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Formelzeichen	Einheit
Zeit	DLZ reduzieren			
	Lieferbereitschaft erhöhen	Lieferbereitschaftsgrad	$LBG$	%
	DLZ getauft reduzieren	DLZ getauft	$DLZ_{getauft}$	h/Karosse
	DLZ gesamt reduzieren	DLZ gesamt	$DLZ_{gesamt}$	h/Karosse
	Wertschöpfungsanteil erhöhen	Durchlaufzeit-Effizienz		%
Effizienz	Effizienz steigern			
	Ressourceneinsatz reduzieren			
	Personaleinsatz reduzieren	Produktionskoeffizient Personal	$PKoeff_{Personal}$	Harbour- h/Karosse
	Fläche reduzieren	Produktionskoeffizient Fläche	$PKoeff_{Fläche}$	m²/Karosse
	Invest reduzieren	Produktionskoeffizient Invest	$PKoeff_{invest}$	€/Karosse
	Flächenauslastung erhöhen	Flächennutzungsgrad	$A_{Fläche}$	%
	Anlagenauslastung erhöhen	Auslastungsgrad der Anlage	$A_{Anlage}$	%
	Ausbringungsmenge erhöhen	Ausbringungsmenge	$X_{ist}$	Karossen/Tag
Qualität	Produktqualität erhöhen			
	Nacharbeit minimieren	Nacharbeitszeit	$NAZ$	h/Karosse
	Oberfläche verbessern	Audit- Note	$Q_{OF}$	-
	Geometrie verbessern	Anteil roter Funktionsmaße	$Q_{Geo}$	%
	Prozessqualität erhöhen			
	GAE erhöhen	GAE gemäß Simulation	$GAE$	%

Abbildung 33: Prozess-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6)

In den folgenden drei Kapiteln werden die verwendeten Kennzahlen und deren Zusammenhang innerhalb der Perspektiven beschrieben.

### Wettbewerbsfaktor Zeit

DELFMANN [Delf97] sieht in dem Wettbewerbsfaktor Zeit einen differenzierten Wettbewerbsfaktor, der einen für den Kunden unmittelbar spürbaren Nutzen darstellt. Dieser Wettbewerbsfaktor kann mithilfe von vier Kennzahlen im Karosseriebau beschrieben werden. Diese wurden in der bereits vorgestellten Netzwerktechnik nach ihrer Passivität ansteigend geordnet und können aus Abbildung 33 entnommen werden. Die Durchlaufzeit – Effizienz legt den Wertschöpfungsanteil des betrachteten Prozess – Abschnitts offen. Da als Bezugsgröße die Zykluszeit herangezogen wird, werden auch zeitparallele Teilprozesse berücksichtigt [Schm06]. So kann eine Aussage über den Anteil an Wartezeit an der Zykluszeit gemacht, und somit Produktivitätspotentiale erkannt werden. Die Maximierung der reinen Bearbeitungszeit an der Zykluszeit ist jedoch im Karosseriebau durch den verketteten Betrieb der Anlagen begrenzt. Um eine wirtschaftliche Gesamtverfügbarkeit des Karosseriebaus von 85% wahren zu können sind Entkoppelungsspeicher unabdingbar. Ein Wert von ca. 20% Wertschöpfungsanteil an der Zykluszeit wurde daher als durchaus üblicher, guter Wert ermittelt. Die detaillierten Analysen dazu folgen im Praxisteil dieser Arbeit in Kapitel 3.

Das Oberziel der Erhöhung des Wertschöpfungsanteils ist die Reduzierung der Durchlaufzeit (DLZ) (es steht daher im KZS über der DLZ – Effizienz). Nach REINHART [Rein00] wird unter der Durchlaufzeit eines Produkts die Summe aus Verrichtungszeit, Wartezeit, Liegezeit und Transportzeit verstanden. Also die Zeit, die von der Einlastung des Auftrags in die Anlagen bis zur Abgabe des fertigen Produkts an den nachgelagerten internen oder externen Kunden vergeht. Im Karosseriebau ist dies also die Zeit, die vom Bereitstellen der Einzelteile an den Anlagen bis zur

Abgabe der Karosse an die Lackiererei vergeht. Die DLZ kann als Maß für die Kapitalbindung des Materials innerhalb der Fertigung verstanden werden und beeinflusst somit direkt die Fertigungskosten. Die Reduzierung der DLZ kann durch organisatorische Maßnahmen erreicht werden (z.B. Reduzierung der Liegezeit) oder durch technische Maßnahmen. Dazu zählen z.B. die Optimierung der Fügeverfahren (schnellere Schweißprozesse) oder die Verbesserung der Anlagenanordnung (geringe Transportzeiten). Auch Änderungen des Produkts, z.B. die Reduzierung der Schweißpunktanzahl pro Karosse, reduziert den Bedarf an Fertigungsschritten und somit die DLZ.

Während die Kennzahlen DLZ und DLZ – Effizienz einen engen Bezug zu den Kosten haben, stellen die folgenden zwei Kennzahlen die Sicht des Kunden auf den Faktor Zeit dar. Die DLZ der getauften Karosse entspricht der Zeit, die die Karosse im Karosseriebau verbringt, ab dem Zeitpunkt an dem ihr ein fester Kundenauftrag zugeordnet wird (Taufe der Karosse). Ab diesem Zeitpunkt wirkt sich die DLZ der Karosse direkt auf die DLZ des Kundenauftrags aus und beeinflusst somit die Wartezeit des Kunden auf das bestellte Fahrzeug. Der Zeitpunkt der Taufe im Karosseriebau hängt von der Anzahl der Varianten einer Karosse ab. Im Idealfall ist die Anzahl der Varianten im Karosseriebau gleich null. Dann ist die Herstellung der Karosse unabhängig von den Wünschen des Kunden und eine Taufe kann erst bei der Zuweisung der Farbe in der Lackiererei erfolgen oder sogar erst bei Beginn der Montage. Im Fallbeispielunternehmen werden von einer Karosse über 100 Varianten im Karosseriebau erzeugt (z.B. mit / ohne Schiebedach, Links- / Rechtslenker, Front-/Vierradantrieb, mit / ohne Dachantenne, USA – Modell, etc.). Die genaue Zuweisung des Kundenauftrags muss schon in den ersten Stationen des Karosseriebaus erfolgen, da bereits strukturelle Unterschiede in der Bodengruppe gesteuert werden müssen. Das von BMW eingeführte System zur Kundenauftragssteuerung *KOVP* (Kundenorientiertes Vertriebs- und Produktionssystem) basiert auf der Strategie einer möglichst späten Taufe des Produkts. Durch die Reduzierung der Varianten im Karosseriebau und eine massive Entkoppelung des Karosseriebaus über ein Lager<sup>9</sup> kann auf eine Taufe im Karosseriebau und in der Lackiererei verzichtet werden. Die vom Kunden wahrgenommene Durchlaufzeit beginnt so erst mit Beginn der Montage [Piet02]. So ist die späte Einbringung von Änderungswünschen des Kunden in die Fertigung (bis ca. 2 Wochen vor Auslieferung) möglich. Die Kennzahl *getaufte Durchlaufzeit* hat folglich einen starken Einfluss auf die Lieferbereitschaft einer Automobilproduktion. Wird beispielsweise eine bereits getaufte Karosse aufgrund von Qualitätsproblemen verschrottet, muss der Kundenauftrag in der Fertigung neu aufgelegt werden, was zu einer Verlängerung der Lieferzeit führen kann. Bei der Verschrottung einer nicht getauften Karosse bleibt der Durchlauf des Kundenauftrags von einer solchen Störung unbeeinflusst. Nach [Mcki05] hat für den Endkunden die

---

<sup>9</sup> Die minimal erforderlichen Varianten (z.B. mit und ohne Schiebedach) müssen als Losgrößen in einem Lager gespeichert werden. Die Entkoppelung des Karosseriebaus und der Lackiererei mit einem Lager von ca. 1000 Fahrzeugen führt zu einem Anstieg der DLZ und somit der Kapitalbindung in der Fertigung.

Liefertreue noch vor der absoluten Lieferzeit Vorrang. Die Einhaltung des zugesagten Liefertermins und somit die *Liefertreue* ist also die wichtigste Kennzahl innerhalb des SEF Zeit und steht so an oberste Stelle innerhalb der Prozessperspektive.

### **Darstellung der Effizienz**

Das Effizienzgebot in der Fertigung gilt unabhängig von der gewählten Strategie eines Unternehmens und stellt daher einen wichtigen SEF dar. Die Effizienz der Prozesse wird klassisch über die Produktivität, also das mengenmäßige Verhältnis von Output zu Input gemessen (vgl. [Wien89]; [Webe06a]). Für die vorliegende Problemstellung wurde jedoch der Kehrwert der Produktivität, der Produktionskoeffizient als Kennzahl gewählt, da der Ressourceneinsatz bezogen auf ein Fahrzeug intuitiv verständlich ist und in der Automobilindustrie weit verbreitet ist. Um den Wert des Produktionskoeffizienten zu reduzieren, kann entweder der Input für die Produktion verringert, oder der Output erhöht werden. Um bei gleich bleibendem Ressourceneinsatz mehr Fahrzeuge zu produzieren, ist zunächst die Auslastung der Fertigungseinrichtungen anzustreben, also die Anzahl produzierter Fahrzeuge pro Zeiteinheit. Dazu können organisatorische Maßnahmen vorgenommen werden, z.B. eine Erhöhung der Einschaltdauer der Anlagen durch den Umstieg von einem 2-Schicht auf ein 3-Schicht System. Auch technische Maßnahmen, wie die Erhöhung der Verfügbarkeit und somit der technischen Nutzlaufzeit sind zielführend – hier ist das Gesamtoptimum zwischen hoher Verfügbarkeit bei geringer Einschaltdauer (hoher Zeitanteil für geplante Instandhaltung / Wartung) und geringer Verfügbarkeit bei hoher Einschaltdauer anzustreben. Kombinierte Maßnahmen zu Erhöhung der Ausbringung sind sehr wirksam, erfordern aber oftmals Eingriffe in das Arbeitszeitmodell und somit eine Abstimmung mit der Arbeitnehmervertretung. Die Ausstattung von Anlagen mit Einlegebändern, bietet die Möglichkeit, eine Anlage für einen gewissen Zeitraum von den Werkern zu entkoppeln. So können Anlagen oder Anlagenbereiche während den vorgeschriebenen Pausen des Bedienpersonals produzieren (Anlagendurchlauf in den Pausen). Dies führt zu einer bedeutsamen Verlängerung der Einschaltdauer der Anlagen, hat aber aufgrund der höheren Materialbindung in den Anlagen einen negativen Effekt auf die DLZ. Neben der Ausbringung und somit der Anlagenauslastung ist auch die Auslastung der einzelnen Ressourcen von Bedeutung. Es wird also untersucht, ob die eingesetzte Fläche, und die vorhandenen Roboter<sup>10</sup> und Werker bei der geplanten Stückzahl ausgelastet wird. Ein Betriebsmittel, welches nur zu 40% ausgelastet ist, kann einen erhöhten Ressourceneinsatz, verlängerte DLZ und erhöhte Investitionen verursachen. Sowohl

---

<sup>10</sup> In der Finanzperspektive (vgl. S.64) wurden die Investitionen in Roboter, Fügetechnik, Messtechnik, Fördertechnik und Spanntechnik aufgeteilt. Die maximale Ausnutzung all dieser Ressourcen ist wünschenswert. Da aber die Aufteilung mehrerer Fügeverfahren auf einen Roboter, oder die Kombination von Fördern und Messen in einer Station oftmals wirtschaftlich sind, ist eine reine Auslastungsbetrachtung dieser Ressourcen nicht sinnvoll im Sinne des Gesamtoptimums.



die Auslastung der Betriebsmittel, als auch der Werker sollte 80% nicht unterschreiten (genaue Analyse in Kapitel 3). Die Definition eines Zielwerts für die Flächenproduktivität muss eng mit der Unternehmensstrategie abgestimmt werden (vgl. Kapitel 2.2). Zum einen verursacht eine großzügige Anordnung der Anlagen mehr Flächennutzung und somit mehr Kosten. Der Anteil der Flächenkosten an den Gesamtkosten einer Karosse (vgl. Abbildung 4) ist gering, die Reduzierung der Flexibilität die mit einem engen Anlagenkonzept einhergeht aber massiv. Der Zielwert der Flächenproduktivität kann also bei einer völligen Neuplanung eines Karosseriebaus (greenfield) durchaus anders sein als bei der Integration einer Anlage in bestehende restriktive Strukturen (brownfield). Beide Zielwerte können aber in dem jeweiligen Fall strategiekonform sein.

Die Darstellung des Produktionskoeffizienten als Mengenverhältnis bietet den Vorteil, dass Preisschwankungen keine Auswirkungen auf das Ergebnis haben und somit die Kennzahlen standortübergreifend und unabhängig von der Marktsituation verglichen werden können. Dies erfordert aber auch die Bildung von Teilproduktivitäten für die zentralen Ressourcen Kapital (Investitionen pro Karosse<sup>11</sup>), Personal (Minuten Personaleinsatz pro Karosse) und Fläche (Quadratmeter genutzter Fläche pro Karosse), da die unterschiedliche Dimension der Einsatzfaktoren keine sinnvolle Verrechnung miteinander zulässt. Bei der Betrachtung dieser drei Ressourcen wird ein Großteil der Kostentreiber im Karosseriebau erfasst, da mit diesen Faktoren über 90% der Kosten berücksichtigt werden (vgl. Abbildung 31). Die Betrachtung dieser Teilproduktivitäten wird daher als ausreichend betrachtet, um die Effizienz der Prozesse zu erfassen. Die Berücksichtigung weiterer Produktivitäten zur Beschreibung der Effizienz der übrigen Ressourcen (vgl. *Sonstigen Kosten* in Kapitel 2.2.3) würde das Kennzahlensystem überlasten und dabei nur einen geringen Informationsmehrwert liefern.

Die Bewertung der Effizienz des Ressourceneinsatzes über Teilproduktivitäten dient auch der Analysefunktion des Kennzahlensystems. Zielverfehlungen bei der Effizienz können klar zugeordnet werden und Maßnahmen zielgerichtet definiert werden.

### **Bewertung der Prozess- und Produktqualität**

Der dritte strategische Erfolgsfaktor (SEF) der Prozessperspektive ist die Erhöhung der Qualität. Insbesondere für den deutschen Automobilbau stellt die Qualität der Fahrzeuge ein Unterscheidungsmerkmal zum Wettbewerb dar. Dabei werden einige Ausprägungen von Qualität von den Kunden als Basisanforderung gesehen, andere haben jedoch durchaus einen Einfluss auf die Kaufentscheidung<sup>12</sup> und sind deshalb

---

<sup>11</sup> Im Gegensatz zur Finanzperspektive ist hier nicht die Abbildung der tatsächlich resultierenden Kosten im Fokus, sondern die Untersuchung der Kostentreiber. Eine Berücksichtigung der Zinsen ist also nicht sinnvoll. Diese stellen zwar auch Kosten dar, da diese aber proportional zu den Investitionen verlaufen liefern sie keine zusätzliche Information bei der Schwachstellenanalyse.

<sup>12</sup> KANO [Kano93] bezeichnet als Basisanforderungen jene Merkmale, die der Kunde als selbstverständlich voraussetzt (z.B.: die Einwandfreie Funktion einer Autotür). Leistungsanforderungen und Begeisterungselemente beeinflussen jedoch die Kaufentscheidung (z.B. die Qualitätsanmutung eines präzise verarbeiteten Fahrzeugs).

bei der Messung der Leistung einer Karosseriefertigung von Bedeutung. Die hohe Qualität eines Produkts wird über die sichere Beherrschung der Prozesse sichergestellt. Der SEF *Qualität erhöhen* führt also zunächst zu der Forderung die *Prozessqualität* zu erhöhen und anschließend zu dem Ziel die *Produktqualität* sicherzustellen.

Die *Prozessqualität* lässt sich mit dem Leistungsparameter Gesamtanlageneffektivität (GAE) beschreiben. Bei der Berechnung der GAE werden drei Faktoren berücksichtigt: der Verfügbarkeitsgrad, der Leistungsgrad und der Qualitätsgrad. Der Verfügbarkeitsgrad beschreibt den Zeitanteil an der Einschaltdauer in dem ohne technische Störungen der Anlage produziert wird. Die Anzahl der Entkoppelungsspeicher zwischen den Stationen einer Anlage haben damit einen großen Einfluss auf die GAE, da sie festlegen, ob die Störung eines Anlagenbereichs zum Stillstand der gesamten Anlage führt. Der Leistungsgrad bildet organisatorische Leerläufe der Anlage und Geschwindigkeitsverluste ab. Der Qualitätsgrad erfasst Nacharbeits- und Ausschussaspekte und kann auch als Erstläuferquote bezeichnet werden. Auf den gesamten Karosseriebau bezogen wird in der Planungsphase eine GAE von 85% angestrebt, diese wird mithilfe der dynamischen Ablaufsimulation überprüft. Durch den kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) kann beim späteren Betrieb der Anlagen dieser Wert leicht auf ca. 87% gesteigert werden. Eine wesentlich höhere GAE ist jedoch meist unwirtschaftlich, da dies zu einem weiteren Zeitverlust durch erhöhte Wartung und verlängerte Speicher führt. Auf unterster hierarchischer Ebene des Karosseriebaus (also auf Prozesselement- oder Schutzkreisebene) macht die Messung der GAE keinen Sinn. Viele Aspekte der Qualität und des Leistungsgrads lassen sich erst an größeren Anlagenbereichen messen, so beschränkt sich auf Schutzkreisebene die Messung auf die technische Verfügbarkeit der verbundenen Komponenten.

Das Ziel, die Produktqualität zu erhöhen, lässt sich im Karosseriebau in vier Handlungsfelder zusammenfassen. Erstens soll die Festigkeit der Karosse und somit der Verbindungen sichergestellt werden. Zweitens sollen die geometrischen Vorgaben an das Produkt (technische Zeichnung der Konstruktion) erfüllt werden und dabei eine schöne Oberfläche der Karosse erzeugt werden (drittens). Diese Ziele sollen dabei möglichst ohne ungeplante manuelle Eingriffe realisiert werden. So stellt die Minimierung der Nacharbeit das vierte Unterziel zur Erhöhung der Produktqualität dar.

Die Festigkeit einer Karosse ist eine entscheidende Eigenschaft des Produkts, da dies die Crash – Eigenschaften des Fahrzeugs bestimmt. Um die von der Entwicklung berechneten und simulierten ertragbaren Belastungen des Fahrzeugs beim Crash auch real sicherzustellen, muss jede einzelne Verbindung im Karosseriebau die gestellten Anforderungen erfüllen. Um dies sicherzustellen, werden im Betrieb der Anlagen in regelmäßigen Zyklen Schweißgruppen aus den Fertigungsanlagen ausgeschleust und bemustert. Bei dieser Bemusterung werden entsprechend der Prüfvorschrift, Qualitätsmerkmale der Verbindungen untersucht. Für Schweißpunkte können dies der Ausknöpfungsdurchmesser oder die Beschaffenheit

der Schweißlinse sein. Das Ergebnis dieser zerstörenden oder nicht zerstörenden Prüfung wird in einer Bemusterungsnote festgehalten, die als Kennzahl für die Erfüllung der Festigkeit herangezogen wird.

Die Präzision mit der ein Fahrzeug hergestellt wird, kann vom Kunden anhand von Fugenverläufen innen und außen am Fahrzeug festgestellt werden. Diese geometrischen Eigenschaften des Produkts (Optik und Funktion) werden vom Karosseriebau festgelegt. Entscheidende Maße an der Karosse, die zur Sicherstellung einer Funktion des Fahrzeugs dienen, werden als Funktionsmaße bezeichnet. So ist beispielsweise zur Montage eines Getriebes an der Karosse die genaue Lage der Anschraubpunkte zueinander von Bedeutung, nicht deren Position relativ zur Vorrichtung in einer Unterschweißgruppe. Um Probleme in nachgelagerten Bereichen des Fahrzeugherstellprozesses zu vermeiden, werden diese Funktionsmaße bei 100% der Fahrzeuge überprüft. Dabei kommen sowohl taktile Messverfahren (Messen einer Schweißgruppe auf einer Koordinatenmessmaschine) als auch optische Verfahren (In-line Prozessüberwachung) zum Einsatz. Überschreitungen der Toleranzen werden so aufgedeckt, dokumentiert und korrigierende Eingriffe in den Prozess definiert. Der Anteil „roter“ Funktionsmaße (also solcher die außerhalb der Toleranz liegen) stellt somit eine Kennzahl zur Erfassung der Geometrie einer Karosse dar.

Die Außenhaut eines Fahrzeugs ist in mehrfacher Hinsicht für den Kunden von Relevanz. Zum einen stellt eine makellose Oberfläche eines der wichtigsten ästhetischen Merkmale eines Automobils dar, zum anderen ist eine fehlerlose Lackierung die Grundlage für einen langfristigen Korrosionsschutz. Als Vorbereitung auf den Lackprozess muss also im Karosseriebau eine fehlerfreie (keine Beschädigungen oder Verschmutzungen) Oberfläche der Karosse sichergestellt werden. Da sich eine Ablagerung von Schweißspritzern oder von verbranntem Zieh fett (wird vor dem Umformen der Bauteile aufgetragen und vor dem Schweißen im Karosseriebau nicht entfernt) nicht vermeiden lässt, durchlaufen die Karossen nach deren Zusammenbau das Finish. In diesem Bereich werden geplante manuelle Tätigkeiten verrichtet, um die Karosse fertigzustellen. Die im Karosseriebau erreichte Güte der Oberfläche wird anschließend stichprobenartig im Rahmen eines Audits bestimmt. Das Ergebnis dieser Begutachtung – die Audit-Note – ist also ein Maß für die Oberflächenqualität der Karosse. Da bei den Produkt-Audits die Übereinstimmung des Produkts mit vorgegebenen Qualitätsmerkmalen erfolgt, ist das Ergebnis relativ. Es können nur Produkte miteinander verglichen werden, die mit der gleichen Systematik auditiert wurden. Um einen Vergleich mit externen Wettbewerbern zu ermöglichen, müssen die Wettbewerbsfahrzeuge vom vergleichenden Unternehmen selbst, nach dessen Methodik, auditiert werden.

Eine entsprechend hohe Beherrschung der Schweißprozesse in den Anlagen macht theoretisch keine weiteren manuellen Eingriffe in den Herstellprozess erforderlich. Die in der Praxis dennoch auftretenden außerplanmäßigen manuellen Eingriffe werden als Nacharbeit bezeichnet. Die dafür aufgewendete Zeit, die *Nacharbeitszeit* beinhaltet alle Tätigkeiten die während oder nach dem Produktionsprozess zur

Beseitigung von Mängeln jeglicher Art dienen [Stra02]. Die Nacharbeitszeit stellt also ein Maß für die Qualität des Produkts nach Durchlauf des Produktionsprozesses dar und beschreibt somit ebenfalls die Qualität der Prozesse im Karosseriebau.

## 2.2.5 Potentialperspektive

In diesem Kapitel werden die Zusammenhänge innerhalb der Potentialperspektive erläutert. Diese Perspektive wird auch als Lern- und Entwicklungsperspektive bezeichnet. Der Begriff Potential wird für diese Arbeit gewählt, da somit verdeutlicht wird, dass die beschriebenen „Möglichkeiten und Fähigkeiten noch kein verdientes Geld sind, ohne [...] Potentiale aber [...] nicht einmal die Chance besteht Geld zu verdienen“ [Frie06]. Die Potentialperspektive befasst sich also mit den langfristigen Auswirkungen strategischer Maßnahmen. Sie stellt somit die Infrastruktur zur Erreichung der Ziele der anderen Perspektiven [Kapl97]. Abbildung 34 stellt die Kennzahlen der vier strategischen Erfolgsfaktoren (SEF) der Potentialperspektive dar: *Standardisierung, Produktbeeinflussung, Mitarbeiter und Flexibilität*.

Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Formelzeichen	Einheit
<b>Flexibilität</b>	<b>Flexibilität erhöhen</b>			
	Produktflexibilität erhöhen	# Derivate/Linie	#Derivate	# Derivate/Linie
	Stückzahlflexibilität erhöhen	Mehrkosten pro Karosserie (0,5 Stückzahl) im Vergleich zu Kosten auf Kammlinie	$F_{St}$	%
	Anpassungsflexibilität erhöhen	Kosten zur Einbringung eines neuen Derivats bezogen auf Erstinvest	$F_A$	%
	MA- Flexibilität erhöhen		$F_{MA}$	
<b>Mitarbeiter</b>	<b>Mitarbeiter zielorientiert motivieren</b>			
	Ideenreichtum	#umgesetzter/eingereichter Ideen	#Ideen umgesetzt ; #Ideen eingereicht	%
	Gesundheitsstand	Einsparung je MA	$Einsp_i$	€
	Unfallhäufigkeit	Gesundheitsstand	GeSt	%
	Zufriedenheit	Unfall- Index	UH	%
	Qualifikation	Anteil zufriedener MA	$Z_{MA}$	%
		Qualifikationsgrad	QG	%
<b>Produktbeeinflussung</b>	<b>Produktbeeinflussung stärken</b>			
	Verbindungstechnik reduzieren	# normierter Verbindungsäquivalente	#VA <sub>norm</sub>	#/Karosserie
	Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	#FüTech <sub>gesamt</sub>	#/Karosserie
	Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik	Anteil "fähiger" Fügetechnologien	PB <sub>ProSi</sub>	%
	Werkstoffmix reduzieren	Anteil warmumgeformter Stähle	PB <sub>WStMix</sub>	%
	Produktkomplexität reduzieren			
	Teileanzahl reduzieren	Anzahl der Einzelteile	#EZT	#/Karosserie
	Variantenanzahl reduzieren	relative Variantenvielfalt	VV <sub>relativ</sub>	%
<b>Standardisierung</b>	<b>Prozessstandards</b>			
	Anlagenstandards	Wiederverwendungsgrad	WVW	%
	Komponentenstandards	Anteil standardisierter Komponenten	S <sub>komp</sub>	%
	<b>Produktstandards</b>			
	Fügetechnik standardisieren	Anteil standardisierter Fügetechnologien	S <sub>FüTechnik</sub>	%
	Fügefolgen standardisieren	Anteil Geo's mit standardisierter Fügefolge	S <sub>FüFolge</sub>	%
	Baugruppen standardisieren	Anteil standardisierter Baugruppen	S <sub>BG</sub>	%
	Teile standardisieren	COP- Anteil	COP - Anteil	%

Abbildung 34: Potential-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6)

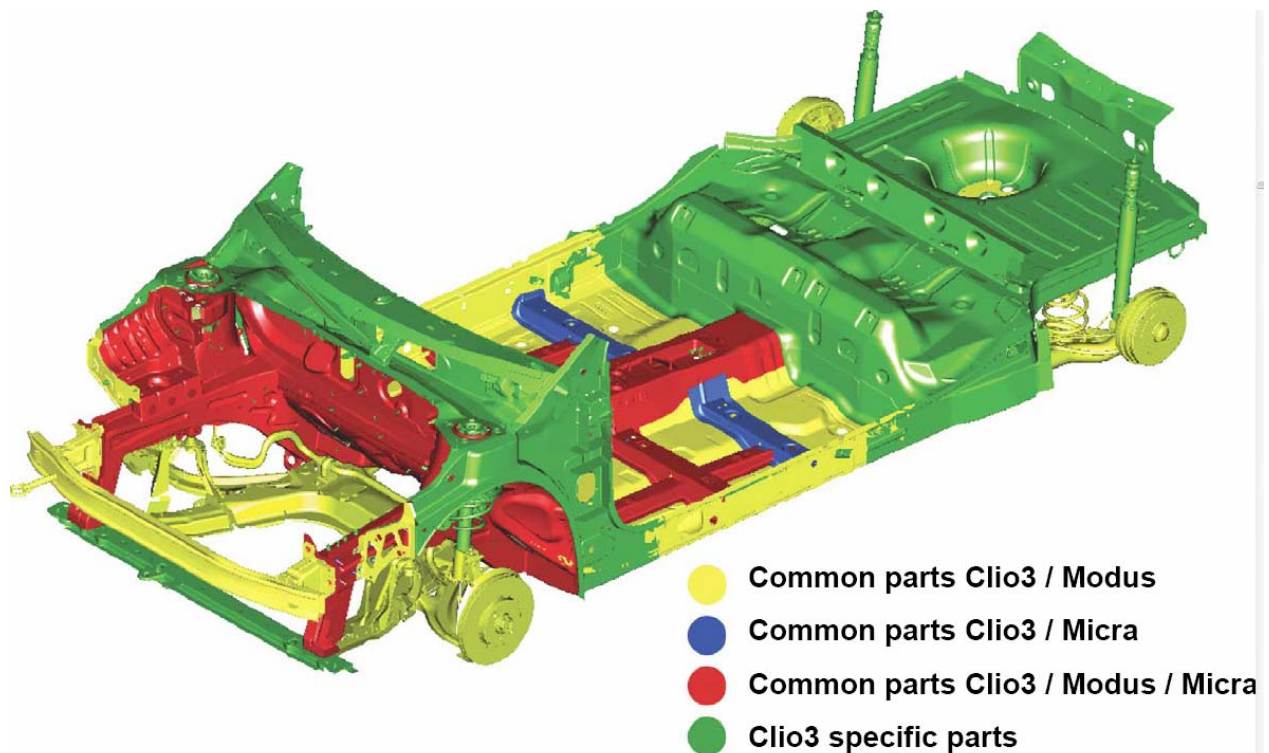
## Produkt- und Prozessstandardisierung

Im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP) kann Standardisierung als Basis für Optimierung und somit für Leistungssteigerung verstanden werden. Dabei wird in vielen erfolgreichen Produktionssystemen (Toyota, Ford, Mercedes) sogar die Standardisierung der Arbeit in der Fabrik festgelegt und

die Standardisierung der Abläufe in den indirekten Bereichen. Die vorliegende Arbeit leistet mit der erarbeiteten Methodik einen Beitrag zur Standardisierung der Bewertung und der Analyse von Karosseriebauprojekten. Sie kann also insgesamt als Beitrag zur Standardisierung von Prozessen in dem indirekten Bereich Fertigungsplanung verstanden werden. Der SEF Standardisierung wird in dem KZS auf *hard-facts*, also auf messbare Eigenschaften der Fahrzeuge (Produkt) und der Fertigungsanlagen (Prozess), bezogen.

In Verbindung mit der in Kapitel 2.2.4 vorgestellten Flexibilitätsstrategie vieler Hersteller, wird der Wunsch nach standardisierten Produkten und Prozessen verständlich. So ist mit viel technischem und finanziellem Aufwand die Fertigung zwei grundlegend unterschiedlicher Fahrzeuge auf einer „Linie“ möglich. Einfacher und somit wirtschaftlicher ist eine Mixfertigung jedoch, wenn die Produkte strukturell einheitlich sind. Wirtschaftliche Flexibilität ist also ohne Standardisierung nicht möglich.

Im einfachsten Fall unterscheiden sich Teile der Produkte gar nicht. So kann beispielsweise ein Bauteil, das bereits in einem anderen Produkt verwendet wird, von einem zweiten übernommen werden. Diese Teile werden als *carry-over-parts* (COP) bezeichnet. Ziel der Produktstandardisierung ist den Anteil dieser COP – Teile an der Gesamtanzahl der Einzelteile einer Karosse zu maximieren. Eine Weiterentwicklung des COP – Gedanken stellt, der von VW in den 80er Jahren geprägte Gedanke der Plattformstrategie dar. Dieser umfasst nicht die nur die Übernahme einzelner Bauteile, sondern gar ganzer Baugruppen. Im VW – Konzern wird die gesamte Bodengruppe als Plattform definiert und findet so, mit nur leichten Modifikationen, in vielen unterschiedlichen Modellen Verwendung. Der Anteil der standardisierten Baugruppen eines Fahrzeugs kann also ebenfalls zur Messung der Produktstandardisierung herangezogen werden. Abbildung 35 stellt am Beispiel des *Renault Clio* den Einsatz gleicher Bauteile in unterschiedlichen Fahrzeugen dar.

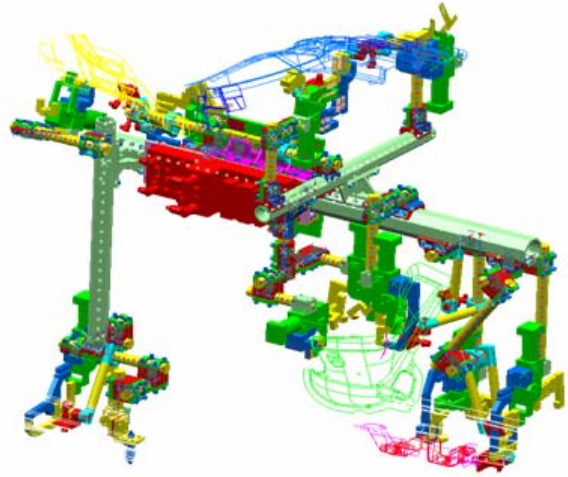


*Abbildung 35: COP-Strategie im Renault-Nissan Konzern im Kleinwagensegment [Thib05]*

Die Freiheitsgrade, die bei der Entwicklung zugelassen werden, müssen bereits zu Projektbeginn klar definiert werden. So ist insbesondere die Vereinheitlichung der Gestaltungsprinzipien für die Fertigung von hoher Bedeutung. Diese können mit der Fügefolge der Baugruppen der Karosserie und den verwendeten Verbindungstechniken beschrieben werden. Da die grundlegende Struktur einer Fertigungsanlage auf der des Produkts (strukturierte Stückliste) aufbaut, hat eine Änderung der Schachtelung der Einzelteile (oder auch Fügefolge) der Karosserie große Auswirkungen auf die Konstruktion der Vorrichtungen. Mitunter haben solche Änderungen den Neubau ganzer Anlagenbereiche zur Folge. Auch die gewählten Verbindungstechniken haben einen starken Einfluss auf die Integrationsfähigkeit eines Fahrzeugs in eine bestehende „Linie“. Ist eine gewünschte Fügetechnik nicht in der Anlage vorgesehen, muss zur Herstellung des Produkts diese nachgerüstet werden. Dies führt jedoch zwangsweise zu einer schlechten Auslastung der Fügekomponten, die nur von einem bestimmten Fahrzeugtyp genutzt werden.

Neben den vorgestellten Vereinheitlichungen am Produkt sind auch Vereinheitlichungen an den Anlagen sinnvoll. Werden bei unterschiedlichen Anlagen gleiche Komponenten verwendet, können z.B. Lagerhaltungskosten für Ersatzteile eingespart werden. Abbildung 36 zeigt einen aus standardisierten Elementen aufgebauten Greifer. Im Gegensatz zu den früher üblichen Sonderanfertigungen erfordert diese Lösung einen geringeren Ersatzteilbestand.





*Abbildung 36: Der Aufbau eines Greifers aus standardisierten Komponenten (3D Konstruktion und realer Einsatz) [Wuns05]*

Auch die Weiterverwendung von Komponenten einer auslaufenden Anlage ist so ohne hohen Integrationsaufwand in anderen Projekten möglich. Dabei können diese sowohl zur Erweiterung also auch zum Neubau einer Karosseriefertigung hergenommen werden. Neben dem Anteil standardisierter Komponenten eines Karosseriebaus bietet also auch die Menge an Anlagen, die bei einem Projekt aus älteren Anlagen stammt, ein Maß zur Messung der Standardisierung. Dieses wird als Wiederverwendungsgrad (WVG) der Anlage bezeichnet. Im Idealfall kann eine auslaufende Anlage für ein neues Produkt unverändert hergenommen werden. Der WVG beträgt dann 1. Die Standardisierung der Komponenten bildet die Basis für die Wiederverwendung von Anlagenumfängen und steht deshalb im KZS unterhalb des WVG.

### **Produktbeeinflussung**

Die Basis einer jeden Fertigungsplanung ist das Produkt. Heutzutage sind Automobilwerke bereits so stark optimiert, dass große Kostenpotentiale in der Fertigung nur noch erschlossen werden können, wenn das Produkt an die Bedürfnisse der Fertigung angepasst wird (design to manufacture). Aktivitäten zur Beeinflussung des Produkts in der Entwicklungsphase seitens der Fertigungsplanung dienen der Maximierung der Wertschöpfung bei der Herstellung des Produkts. Dazu werden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen wird versucht, die Komplexität des Produkts zu reduzieren, was einfachere und somit günstigere Anlagen ermöglicht. Zum anderen soll die Verbindung der Einzelteile im Karosseriebau technologisch einfach umgesetzt werden, um eine hohe Auslastung der Anlagen bei hoher Verfügbarkeit zu ermöglichen. So kann das Produkt mit weniger Ressourcen hergestellt werden, was eine Erhöhung der Produktivität mit sich bringt.

Die Komplexität des Produkts, also der Karosserie kann mit den Kennzahlen *Teileanzahl*, *Variantenanzahl* und *Werkstoffmix* beschrieben werden. Die *Produktqualität* ist ebenfalls wichtig und wurde bereits in der Prozessperspektive betrachtet (vgl. Kapitel 2.2.4). Die Anzahl der Blechteile aus der eine Karosserie

besteht, hat einen direkten Einfluss auf die Anzahl der Fügestationen, in denen die Teile zueinander positioniert und gefügt werden, sowie zu dem Personal, das die Logistik und Handhabung der Teile sicherstellt. Eine Reduzierung der Anzahl der Einzelteile schlägt sich also direkt in einer Reduzierung des Ressourcenverbrauchs im Karosseriebau nieder. Eine groß angelegte Untersuchung der optimalen Teileanzahl einer Karosse wurde im Jahr 2005 von 4 deutschen Automobilherstellern durchgeführt. Bei dieser Analyse der gesamten Prozesskette (Presswerk, Logistik, Karosseriebau, Lackiererei) wurde das Optimum der Gesamtkosten in Abhängigkeit der Teileanzahl untersucht. Dabei zeigte sich, dass eine geringe Teileanzahl die Kosten im Karosseriebau, in der Logistik und in der Lackiererei (Abdichten der Fugen mit PVC gegen Korrosion) reduziert. Dies führt aber zu größeren und komplexeren Teilen im Presswerk, was wiederum zu komplexeren Ziehwerkzeugen und einem schlechteren Materialnutzungsgrad führt.

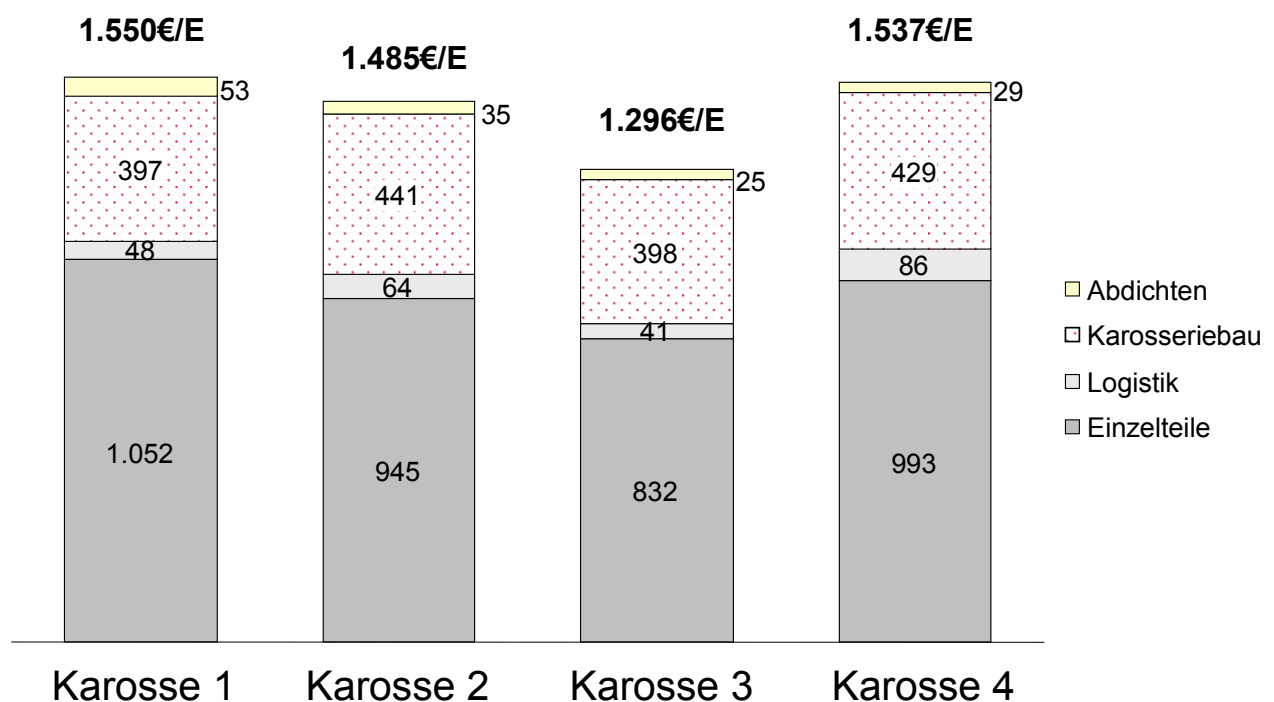


Abbildung 37: Aufteilung der Kosten einer Karosse (€/E) nach Fertigungsbereich

Abbildung 37 zeigt, dass die Einzelteile den höchsten Anteil der Kosten an einer Karosse haben. Die Optimierung des Materialnutzungsgrades hat daher einen so starken direkten Einfluss auf die Einzelkosten der Karosse, dass positive Effekte in den nachgelagerten Fertigungsbereichen überkompensiert werden. Auf Grund dieser Ergebnisse haben die beteiligten Unternehmen ihre Strategie, Karossen aus möglichst wenigen Einzelteilen aufzubauen, verlassen. Die wachsenden Rohstoffpreise verstärken sogar diesen Effekt, so dass die Reduzierung der Einzelteile pro Karosse kein Kostenpotential darstellt. Diese Kennzahl wird im Weiteren nicht mehr betrachtet.

Die Anzahl der Varianten, die von einem gleichen Produkt im Karosseriebau unterschieden werden, beeinflusst die Effizienz des Karosseriebaus auf vielfältige



Weise. In Kapitel 2.2.4 wurde bereits der Einfluss der Varianten auf die Durchlaufzeit der Kundenaufträge erläutert und daraus die Forderung nach Minimierung der Varianten im Karosseriebau abgeleitet. Unterschiedliche Varianten führen jedoch auch zu einer schlechten Auslastung der Komponenten und somit zu erhöhtem Ressourceneinsatz. Im Fallbeispielunternehmen werden über 100 Varianten eines gleichen Fahrzeugtyps des B-Segments im Karosseriebau unterschieden. Da viele Prozessschritte exklusiv für eine Variante vorhanden sind<sup>13</sup>, sind die Ressourcen im Schnitt schlecht ausgelastet und somit ineffizient. Abbildung 56 zeigt die Mehrkosten eines Prozesselements für die Variante Vierradantrieb.

Einen ähnlich negativen Einfluss auf die Komponentenauslastung hat der Einsatz unterschiedlicher Werkstoffe in einer Karosse (vgl. Abbildung 7, Kapitel 1.1). Dabei beeinflusst die Materialwahl den Karosseriebau indirekt über die damit festgelegte Verbindungstechnik. Da verschiedene Materialien oftmals unterschiedliche Fügeverfahren erfordern, werden je nach Materialpaarung, Prozessschritt – spezifische Verbindungstechniken eingesetzt. Somit ist ein anlagenübergreifendes Verteilen der Arbeitsinhalte zur Optimierung der Auslastung der Anlagen nicht möglich. Insgesamt entstehen so erhöhte Investitionen, erhöhte Lagerkosten für Ersatzteile und erhöhter Aufwand zur Schulung des Instandhaltungspersonals. In dem Kennzahlensystem wird die Kennzahl *Technologiemix* ebenfalls aufgenommen. So wird neben dem indirekten Einfluss des *Materialmix* auf die Kosten auch der direkte Einfluss des *Technologiemix* sichtbar und evaluierbar.

Die Vereinheitlichung der Verbindungstechniken ist von großer Bedeutung. Dabei ist aber nicht nur auf geringe Anzahl, sondern auch auf eine hohe Zuverlässigkeit der Fügeverfahren zu achten. Der in Kapitel 1.1 beschriebene Druck auf deutsche Automobilhersteller, der aus der Strategie der Technologieführerschaft resultiert, führt mitunter zum Einsatz unsicherer Fügeprozesse (z.B.: Laserschweißen). Bei der Untersuchung der Verfügbarkeit der eingesetzten Fügeverfahren im A – Segment des Fallbeispielunternehmens, ergab sich, dass gerade einmal 80% der Verfahren prozesssicher sind. Die übrigen Verfahren (oft neue Technologien) führen zu massiven Einbußen bei der GAE und zu erhöhtem Nacharbeitsaufwand (Abbildung 54 veranschaulicht diesen Sachverhalt am Beispiel Laserschweißen). Der Prozentsatz fähiger Fügetechnologien im Verhältnis zur Anzahl eingesetzter Verfahren stellt also eine Kennzahl zur Bewertung der Prozesssicherheit im Karosseriebau dar.

Die oberste Kennzahl innerhalb des SEF *Produktbeeinflussung* ist die *Menge der Verbindungsinhalte*. Die Wertschöpfung im Karosseriebau kann vereinfacht als das Verbinden von Blechteilen beschrieben werden. Somit ist die Menge der zu realisierenden Verbindungen ein direkter Ressourcentreiber. Im Umkehrschluss führt also eine Reduzierung der Menge an Verbindungen zu einem geringeren Ressourceneinsatz und somit zu geringeren Kosten. Da jedoch im Karosseriebau

---

<sup>13</sup> Zum Beispiel das Hinzufügen von Verstärkungen bei der Variante mit Vierradantrieb, oder einer abweichenden Reserveradmulde bei der USA – Version.

unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden, ist zunächst eine Definition der Einheit *Verbindungsinhalt* erforderlich. Im Fallbeispielunternehmen wurden zu diesem Zweck die Herstellkosten beim Verbinden von zwei Blechen für jedes eingesetzte Fügeverfahren untersucht. Dabei wurden sämtliche Kosten, wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, berücksichtigt. Als Referenz wurde das bedeutendste Fügeverfahren, das Widerstandspunktschweißen gewählt. Über das Verhältnis der Kosten konnte so jeder Verbindungstechnik ein Kostenäquivalent zugeordnet werden. So entspricht beispielsweise ein Schweißpunkt 25mm Laserschweißnaht; beide entsprechen einem Verbindungsäquivalent. Die normierte Umrechnung der Mengen unterschiedlicher Verbindungsinhalte (*Menge normierter Verbindungsäquivalente*) stellt also eine Kennzahl zur Erfassung der Verbindungsmenge im Karosseriebau dar. Diese Kennzahl ist die aktivste Kennzahl innerhalb des SEF *Produktbeeinflussung*, da sie fast jede übergeordnete Kennzahl beeinflusst und insbesondere einen direkten Einfluss auf die Herstellkosten hat. Abbildung 38 stellt eine Übersicht der Verbindungsäquivalente von Karossen unterschiedlicher Hersteller im B-Segment dar. Die große Spanne verdeutlicht den bedeutenden Kostenvorteil verbindungsarmer Karosserien.

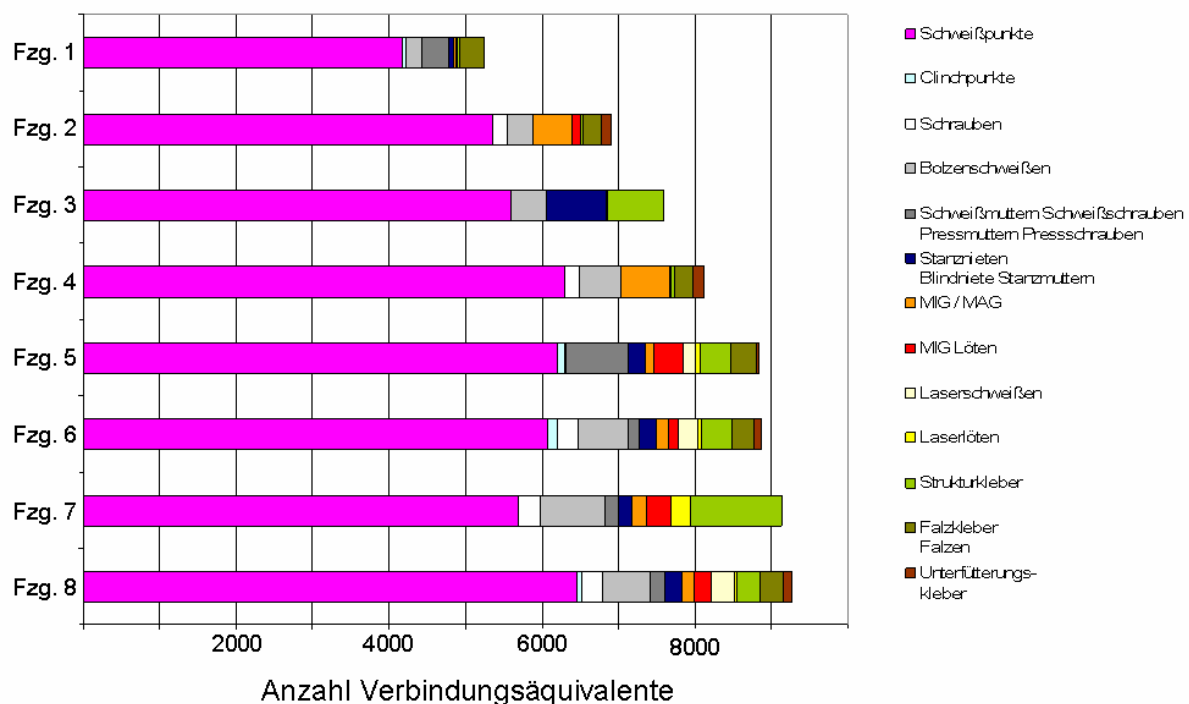


Abbildung 38: Vergleich der Verbindungsäquivalente im B-Segment

## Mitarbeiter

Mitarbeiter leisten einen besonderen Beitrag zum Erfolg eines Unternehmens. Dennoch stellt die adäquate Erfassung und Bewertung dieses Erfolgsfaktors nach wie vor eine große Herausforderung dar (vgl. [Webe06a]; [Klin01a]). Für die vorliegende Aufgabenstellung werden vier Indikatoren für Mitarbeiterzufriedenheit durch Kennzahlen erfasst: *Qualifikation*, *Unfallhäufigkeit* (also Sicherheit), *subjektive Zufriedenheit* und *Ideenreichtum*.

In vielen Unternehmen werden heutzutage mit Ideen – Programmen für Mitarbeiter beachtliche Einsparungen erzielt und dabei die Motivation der Mitarbeiter gesteigert, für die sich ein überdurchschnittlicher Einsatz auszahlt. Der Ideenreichtum in einem Fertigungsbereich kann über das Verhältnis von eingereichten zu umgesetzten Ideen in einem Berichtszeitraum definiert werden. Diese Kennzahl gewinnt noch an Aussagekraft, wenn neben der reinen Ideenmenge auch die damit erzielten Einsparungen im Berichtszeitraum betrachtet werden. So ist dann eine direkte Verbindung von der Mitarbeitermotivation zu den Herstellkosten (€/Fzg.) möglich.

Auch die Zufriedenheit der Mitarbeiter wird bereits in vielen Betrieben mit so genannten Stimmungsbarometern gemessen. Dabei wird lediglich das subjektive Empfinden der Mitarbeiter abgefragt, da diese Umfragen meist anonym über Fragebögen ablaufen und Rückfragen so nicht möglich sind. Die Ergebnisse hängen zwar stark von der persönlichen Situation der Mitarbeiter ab, stellen aber dennoch eine wichtige Messgröße zur Erfassung der Mitarbeiterloyalität dar, die sich auf deren Produktivität auswirkt (vgl. [Webe06a]; [Brow97]).

Die Reduzierung der Unfallhäufigkeit in produzierenden Unternehmen hat zum einen das Ziel die Kosten zu reduzieren aber auch die Motivation der Mitarbeiter zu erhöhen, indem ihnen keine „gefährlichen“ Tätigkeiten zugemutet werden. Die Unfallhäufigkeit kann als „Anzahl der Unfälle bezogen auf die Gesamtmitarbeiteranzahl“ [Osso03] definiert werden.

STRAUSSBERG setzt die Kennzahl *Qualifikationsgrad* aus den Komponenten „Fertigkeiten“ und „Fähigkeiten“ zusammen und ermöglicht somit eine umfassende Aussage über die Qualifikationsstufen der Mitarbeiter in einem Unternehmensbereich. Diese Kennzahl wird in der vorliegenden Arbeit herangezogen um die Qualifikation der Mitarbeiter zu bewerten, die einen starken Einfluss auf sämtliche Aspekte des SEF *Mitarbeitermotivation erhöhen* hat und somit als „Leistungstreiber“ ganz unten in dieser Kennzahlengruppe steht.

## **Flexibilität**

In Kapitel 1.1 wurde bereits auf die strategische Bedeutung flexibler Fertigungsanlagen in produzierenden Unternehmen eingegangen. Die große Bedeutung der Flexibilität hat in den letzten Jahren zu einer großen Vielfalt an Begriffen und Definitionen zu dem Thema geführt,<sup>14</sup>. da der Begriff Flexibilität (ähnlich wie der Qualitätsbegriff) sehr subjektiv geprägt ist. Soll er für die Verwendung in dieser Arbeit zunächst abgegrenzt werden. Für die Verwendung in dieser Arbeit ist die Einordnung des Begriffs nach REINHART [Rein99] am besten geeignet, da sie die spezifischen Charakteristika des Karosseriebaus (hoher Automatisierungsgrad, Linienfertigung, hohe Investitionen) berücksichtigt. Danach setzt sich die Wandlungsfähigkeit aus einer vorgehaltenen, geplanten Anpassungsmöglichkeit (der Flexibilität) und einer darüber hinausgehenden

---

<sup>14</sup> OST [Ost93] stellt die fast synonyme Verwendung der Begriffe Flexibilität, Wandlungsfähigkeit, Variabilität, Universalität, Reaktionsfähigkeit, Umstellungsfähigkeit und Erweiterungsfähigkeit fest. Und leitet daraus die Unschärfe des Begriffs Flexibilität ab.

Reaktionsfähigkeit auf unbekannte Anforderungen zusammen. Der von REINHART als Flexibilität definierte Anteil der Wandlungsfähigkeit ist für die vorliegende Arbeit besonders relevant, da er den geplanten Flexibilitätskorridor einer Fertigungsanlage beschreibt. Mit der Flexibilität ist der Anteil der Wandlungsfähigkeit, der in der Planungsphase einer Karosseriebauanlage festgelegt wird, im Kennzahlensystem berücksichtigt.

WIENDAHL [Wien05] definiert drei Arten von Flexibilität: quantitativ (Produktionsmenge), qualitativ (Produkt, Werkstoffe) und zeitlich (Zeitraum für Anpassungen). Aus diesen allgemeinen Flexibilitätsarten leitet er für Anlagen im Automobilbau folgende Flexibilitätsarten ab:

- Modellflexibilität                      neues Fahrzeug einbringen
- Technologieflexibilität            Integration neuer Technologien
- Variantenflexibilität                Modellvarianten die auf einer Linie gefertigt werden
- Stückzahlflexibilität                wirtschaftliche Anpassung auf Marktentwicklungen
- Anlaufflexibilität                    variabler Zeitraum bis Erreichung der Kammlinie

Unter der Anlaufflexibilität versteht WIENDAHL die Fähigkeit, den Produktionsanlauf der Modelle zu beschleunigen um den Zeitraum bis zum Erreichen der Auslegungsstückzahl (der Kammlinie) zu verkürzen. Für die isolierte Betrachtung des Karosseriebaus in dieser Arbeit ist die Betrachtung dieser Flexibilitätsart nicht relevant. Die hohen Investitionen im Karosseriebau führen stets zu dem Wunsch nach möglichst steilen Anlaufkurven. Somit ist das Ziel, die Anlaufzeit zu verkürzen eine Projektprämisse und stellt somit kein Flexibilitätsmerkmal für den Karosseriebau dar. Die Technologieflexibilität kann zur Beurteilung der Integrationsfähigkeit einer neuen Technologie in eine bestehende Karosseriebauanlage verwendet werden. Sie wird jedoch in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da eine sinnvolle Quantifizierung dieser Messgröße nicht möglich ist. So hängt die Änderung einer Technologie auch mit einer Änderung des Produktes zusammen (Werkstoff, Fügefolge) und kann somit tief greifende Änderungen der Anlage mit sich bringen. Andererseits kann bei einer Änderung der Technologie beispielsweise nur eine andere Schweißzange an die standardisierten Schnellkupplungen der Roboter gedockt werden. Die Auswirkungen einer Technologieänderung sind also so unterschiedlich, dass die Gefahr von Fehldeutungen im Kennzahlensystem nicht ausgeschlossen werden kann.

Die übrigen Flexibilitätsarten nach WIENDAHL gelten für den Karosseriebau uneingeschränkt. Die Modellflexibilität beschreibt die Möglichkeit der Einbringung eines neuen Typs, sie wird im Folgenden als Anpassungsflexibilität bezeichnet. Die Variantenflexibilität wird nachfolgend als Produktflexibilität bezeichnet und beschreibt die bereits umgesetzte Flexibilität bezüglich der unterschiedlichen Fahrzeugtypen die auf einer Linie hergestellt werden. Die Stückzahlflexibilität beschreibt die Fähigkeit einer wirtschaftlichen Anpassung eines Karosseriebaus auf Marktschwankungen.

Zusätzlich wird eine vierte Flexibilitätsart definiert: die Mitarbeiterflexibilität. Diese Kennzahl ermöglicht die Beurteilung der Einsetzbarkeit der Mitarbeiter an

verschiedenen Arbeitsplätzen. Für den Karosseriebau ist diese Eigenschaft von großer Bedeutung, da die Spanne der Arbeitsplätze vom einfachen Einlegen der Teile in die Vorrichtungen bis zum eigenverantwortlichen Steuern ganzer Anlagenbereiche reicht. Diese Flexibilitätsart baut auf dem Qualifikationsgrad der Mitarbeiter auf, der bereits beschrieben wurde.

Die Anpassungsflexibilität stellt das Potential eines Produktionssystems dar, mit möglichst geringen Investitionen ein neues Fahrzeugmodell in die Fertigung zu integrieren. Dabei stehen die produktorientierten Erweiterungsmöglichkeiten im Vordergrund. Die Flexibilität wird durch Vorhaltungen in der Anordnung der Anlagen, der Wahl der eingesetzten Technologien und der erforderlichen Geometriestationen beeinflusst. Werden solche Vorhaltungen getroffen, ist eine Integration mit wesentlich geringerem finanziellen Aufwand verbunden, als die Integration eines neuen Typ in eine kompakte Anlage, die auf einen spezifischen Typ „maßgeschneidert“ wurde. Das Verhältnis der Investitionen zur Einbringung des neuen Typs zu den Erstinvestitionen beschreibt diese vorgehaltene Flexibilitätsart.

Die Fähigkeit eines Produktionssystems bei unterschiedlichen Auslastungen gleichermaßen wirtschaftlich zu arbeiten wird mit der Stückzahlflexibilität beschrieben [Hall99]. Die dynamischen Veränderungen, die die Automobilindustrie in den letzten Jahren gekennzeichnet haben, haben Prognosen zu Marktveränderungen erschwert (vgl. [Rein99]). MÜRDTNER macht insbesondere konjunkturelle Nachfrageschwankungen, wachsende saisonale Abhängigkeit von Produkten und über die Jahre verteilte Schwankungszyklen für diese Entwicklung verantwortlich [Mürd99]. Aber auch das allgemeine Ausbleiben der erwarteten Nachfrage durch langsamen Nachfrageanstieg und schnelles Nachlassen der Absatzzahlen konnten in den letzten Jahren beobachtet werden [Schu04]. Daher hat die Stückzahlflexibilität als wirtschaftlicher Erfolgsfaktor in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen. Die wirtschaftliche Anpassung der Stückzahlen hochautomatisierter Produktionssysteme führt jedoch zu Problemen [Röhr02]. Anlagenkonzepte orientieren sich üblicherweise an Kapazitätsobergrenzen und werden für die maximal auftretende Nachfrage ausgelegt, da der Vertrieb von unbegrenzten Kapazitäten ausgeht [Schö99]. Diese Kapazitäten stehen aber über den gesamten Lebenszyklus der Produktionssysteme zur Verfügung, was zu einer geringen Systemauslastung und somit zu hohen Herstellkosten führt (vgl. [Rein99]; [Ost93]). Im Folgenden wird der Zusammenhang zwischen der Stückzahlflexibilität und den Stückkosten untersucht, um eine Kennzahl zur Beschreibung der Stückzahlflexibilität zu entwickeln. Dazu kommt die in Kapitel 2.2.3 entwickelte Berechnung der Herstellkosten im Karosseriebau zum Einsatz.

Gleichbleibende Wirtschaftlichkeit bei unterschiedlichen Stückzahlen setzt das ausschließliche Vorhandensein variabler Kosten voraus, und ist für ein Fertigungssystem nicht realisierbar [Ost93]. Sobald es zu einer geringeren Auslastung des Systems kommt verteilen sich die konstant bleibenden Fixkosten auf eine geringere Produktionsmenge. Somit steigen zwangsläufig die stückbezogenen Produktionskosten ([Dang00]; [Ost93]). Um die Stückzahlflexibilität eines Systems zu steigern, ist eine Verringerung der Fixkosten notwendig. Die Fixkosten können

kurzfristig nicht verändert werden [West97], im Gegensatz dazu ändern sich variable Kosten mit der Höhe des Produktionsvolumens [Steg01]. Sprungfixe Kosten, z.B. Personalkosten, ändern sich beim Überschreiten einer Grenze sprunghaft, da davon auszugehen ist, dass bei Verringerung der Produktionsmenge eine Einsparung von Personal durch das Zusammenlegen von Tätigkeiten möglich ist [Schu04]. REINHARD [Rein99b] unterscheidet drei grundlegende Prinzipien der Kapazitätsanpassung: die Synchronisation, die partielle Emanzipation und die totale Emanzipation. Dabei erfolgt die Anpassung der Kapazität an die Absatzmenge bei der Synchronisation kontinuierlich, bei der partiellen Emanzipation stufenweise und bei der totalen Emanzipation nicht über die Ausbringung der Anlage sondern über die Entkoppelung durch ein Lager. Das typische Nachfrageverhalten im Automobilbau legt die partielle Emanzipation als Prinzip der Kapazitätsanpassung nahe. Dabei erfolgt die Kapazitätsanpassung über eine Variation der Bearbeitungsdauer oder der Anlagenanzahl [Rein99]. Aufgrund der Komplexität der Fertigungslinien und der zahlreichen Wechselwirkungen zwischen den Komponenten ist letzteres jedoch im Karosseriebau nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand realisierbar. Die Untersuchung der Stückzahlflexibilität kann demnach auf eine zeitliche Anpassung in Form von Arbeitszeit- (Betriebszeitreduzierung) und Taktzeitveränderungen beschränkt werden (vgl. [Schm94]; [West05]; [Röhr02]).

Bei der Betriebszeitreduzierung bleibt die Ausbringung der Anlage pro Zeiteinheit konstant, jedoch sinkt die Ausbringung durch kürzere Produktionszeiten (z.B. Schichtentfall, Kurzarbeit). Da dies ein Eingriff in das Arbeitszeitmodell bedeutet, sind die Handlungsalternativen in der Planungsphase mit dem Betriebsrat abzustimmen. Die Vorteile dieser Anpassung liegen in dem geringen Energieverbrauch der Anlagen während der Stillstandszeit, die bei dem hohen Automatisierungsgrad im Karosseriebau eine nennenswerte Einsparung darstellen. Außerdem kann der Betriebsstillstand zur Wartung und Instandhaltung der Anlagen herangezogen werden.

Die Taktzeiterhöhung ist eine intensitätsmäßige Kapazitätsanpassung und führt zu einem geringeren Output pro Zeiteinheit. Dabei kommt es bei dem taktgebundenen Personal zu erhöhten Wartezeiten (Taktausgleichzeit). Zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit muss die Auslastung der Werker wieder erhöht werden, indem ihnen neue Tätigkeiten übertragen werden. Dies ist jedoch nur möglich, wenn es keine räumliche Trennung der Bedienbereiche der Maschinen gibt (isolated Islands). Bei Toyota wird daher mit einer U-förmigen Anlagenanordnung (Einlegenester) die optimale Variation der eingesetzten Werker ermöglicht [Röhr02].

Abbildung 39 veranschaulicht dieses Vorgehen.

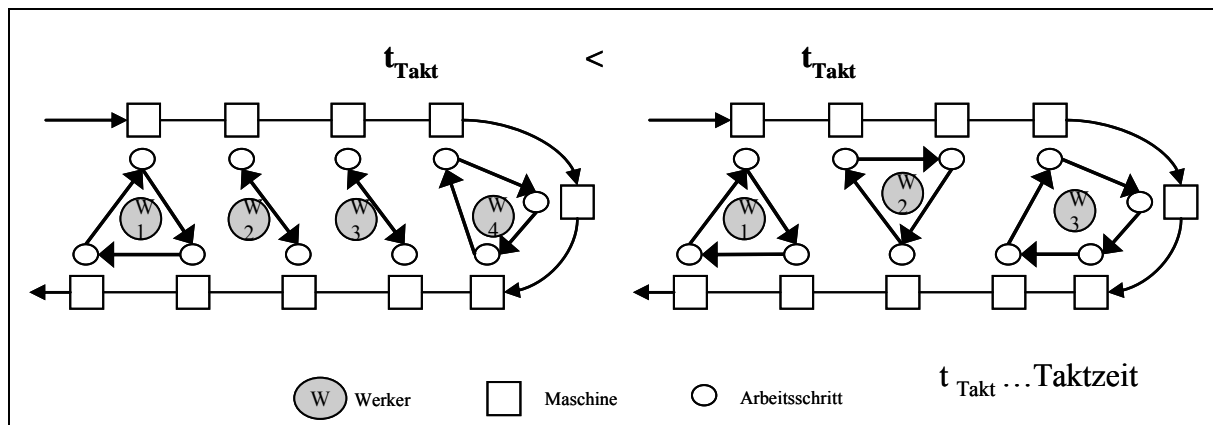


Abbildung 39: Werkerreduzierung bei Taktzeitverlängerung U-förmiger Anlagen

Die Untersuchung der Vollkosten bei unterschiedlicher Taktzeit ermöglicht eine Quantifizierung dieses Zusammenhangs. Wird beispielsweise die Taktzeit verdoppelt (Halbierung der Stückzahl), ohne Aufgaben umverteilen zu können (zu großer Abstand zwischen den Einlegeplätzen) verdoppeln sich fast die Kosten pro Einheit. Lediglich eine Reduzierung der Kosten für Energie, Instandhaltung, Logistik und Einsatzstoffe wirkt sich positiv aus (siehe rote Kostenkurve in Abbildung 40). Die grüne Kostenkurve aus Abbildung 40 zeigt hingegen eine bedeutende Kostenreduzierung, da bei dieser Variante eine Umstellung des Layouts eine Reduzierung der Werker von 6 auf 4 bei doppelter Taktzeit ermöglicht.

Die Entwicklung der Kosten bei Erhöhung der Taktzeit stellt also eine Möglichkeit dar, die Stückzahlflexibilität einer Fertigungsanlage zu messen. Als Bezugsgröße werden die minimalen Kosten pro Einheit definiert. Diese entstehen bei dem Betrieb der Anlage auf Kammlinie, also bei Herstellung der maximalen Stückzahl (siehe blaue Kurve in Abbildung 40). Dazu werden die Kosten pro Einheit, bei Fertigung mit doppelter Taktzeit (also die Stückkosten bei halber Stückzahl) ins Verhältnis gesetzt.

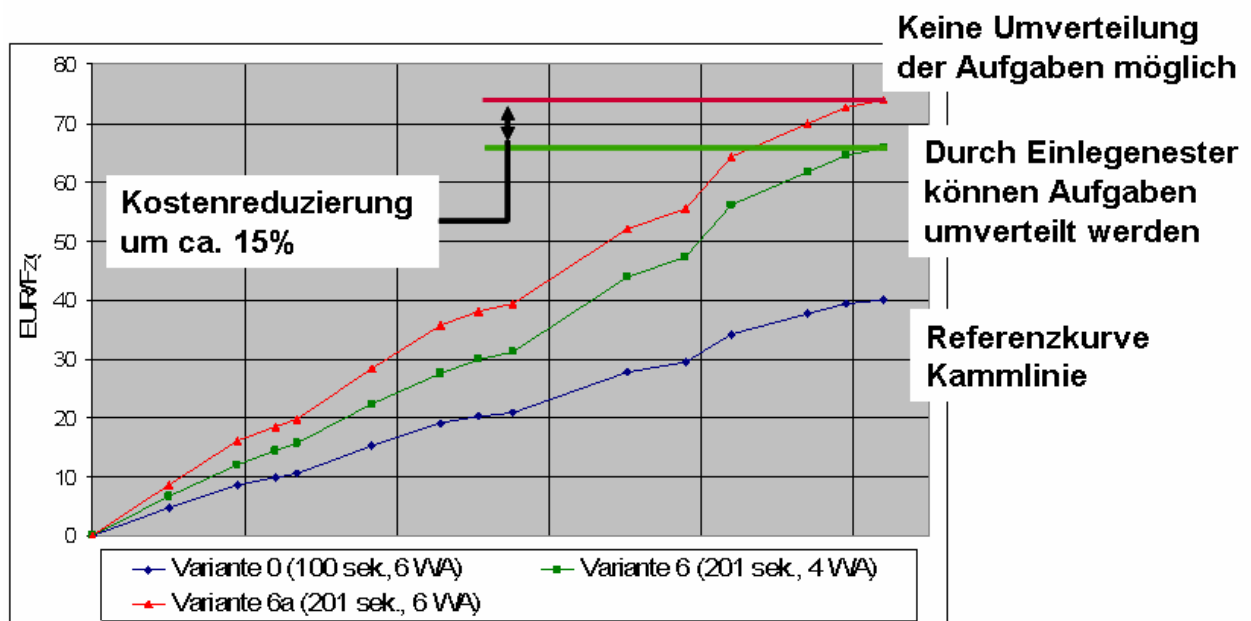


Abbildung 40: Kostenreduzierung bei Aufgabenumverteilung

Eine weitere Möglichkeit, der Erhöhung der Stückkosten bei verringerter Ausbringungsmenge entgegenzuwirken, ist die reduzierte Fertigungsmenge durch ein anderes Produkt zu kompensieren. Dazu muss dieses Produkt auf den gleichen Fertigungseinrichtungen herstellbar sein. Die Fähigkeit einer Karosseriebauanlage unterschiedliche Fahrzeugmodelle herzustellen wird als Produktflexibilität bezeichnet (vgl. [Schm94]; [West05]). Im Gegensatz zur Stückzahlflexibilität kann diese Art der Flexibilität einen absoluten Rückgang der Nachfrage nicht abfedern. Es kann lediglich auf eine Verlagerung der Nachfrage von einem Produkt zu einem anderen zum gleichen Zeitpunkt reagiert werden. Die Produktflexibilität bietet sich also an, um auf saisonale Schwankungen bei Derivaten (z.B. Cabrio) oder auf Nachfrageverlagerungen am Ende des Produktlebenszyklus zu reagieren. Die *Anzahl der Derivate pro Anlage* stellt die Kennzahl dar, mithilfe derer in dem Leistungsmesssystem die Produktflexibilität erfasst wird. Abbildung 41 zeigt einige Konzepte zur Umsetzung dieser Flexibilitätsart in der Vorrichtung. Die derivatspezifischen Spannvorrichtungen können beispielsweise auf Trommeln oder Drehtischen montiert werden, die je nach gewähltem Derivat in den Arbeitsbereich geschwenkt werden. Dieses Konzept ist wegen des wachsenden Bauraums der Vorrichtungen für bis zu vier Derivate geeignet. Ist eine höhere Flexibilität gewünscht, bietet sich der Austausch der Vorrichtung an. Befindet sich eine Vorrichtung nicht im Einsatz wird sie in einem Vorrichtungsbahnhof abgelegt (Werkzeugwechsel).

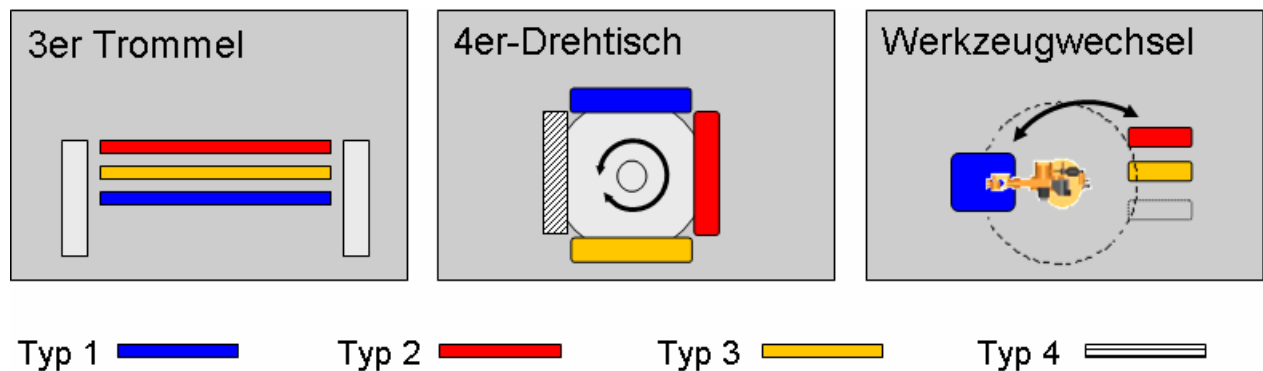


Abbildung 41: Konzepte für produktflexible Vorrichtungen [Wuns05]



## **3 Nutzung des Kennzahlensystems zur Leistungsmessung**

### ***3.1 Praxisüberleitung: Leistungsmessung in der Entwicklungsplanung***

In Kapitel 1 wurde der Handlungsbedarf hinsichtlich der Verbesserung der Informationsversorgung für Entscheider und Planer in der Grobplanungsphase von Karosseriebauprojekten im Automobilbau hergeleitet. Anschließend wurde das theoretische Gerüst für ein Leistungsmesssystem entwickelt und zuletzt mit Berechnungsvorschriften für die verwendeten Kennzahlen gefüllt. Die Untersuchung der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge zwischen den Perspektiven, den strategischen Erfolgsfaktoren und hierarchischen Ebenen des Leistungsmesssystems bildete den Abschluss des zweiten Kapitels. Im Folgenden wird anhand der Ergebnisse aus real abgewickelten Projekten das Leistungsmesssystem in die Praxis übertragen und aufgezeigt, in wie weit es das Projektgeschehen beeinflusst. Als Arbeit der angewandten Wissenschaft (vgl. Kapitel 1.2) dient diese Arbeit der Problemlösung in der Praxis. Der praktische Nutzen der in Kapitel 2 entworfenen Modelle und Regeln wird in diesem Kapitel untersucht.

Auf Basis des entwickelten Leistungsmesssystems (vgl. Kapitel 2) wird ein Berichtssystem ausgestaltet, welches die Planer bei der Bearbeitung ihrer Aufgaben im Planungsprozess unterstützt und so zur Steigerung der Effektivität in der Planung beiträgt. Zu diesem Zweck sind Detailinformationen erforderlich, die Schwachstellen aufzeigen und eine Überprüfung der Wirkung von Korrekturmaßnahmen ermöglicht. Darüber hinaus ermöglicht das Berichtssystem es dem Management, sowohl auf strategischer, als auch auf taktischer und operativer Ebene fundiert Entscheidungen zu fällen (vgl. [Abol05]; [Grün01]). Zur Entscheidungsunterstützung ist die Aggregation und Aufbereitung der Information nötig, die für das Projektmonitoring weiterverwendet wird.

Im Folgenden wird die Entwicklung des Berichtssystems dargestellt. Dabei werden die theoretischen Anforderungen an Leistungsmesssysteme und Monitorsysteme auf die spezifischen Anforderungen der Praxis abgestimmt.

#### **3.1.1 Kennzahlenbedarf und Datenverfügbarkeit**

Das entwickelte LMS enthält sämtliche Kennzahlen, die für die Analyse und Bewertung von Prozessketten im Karosseriebau erforderlich sind. Es besteht also auch ein Bedarf an diesen Kennzahlen bei einer durchgängigen Nutzung des LMS über den gesamten Lebenszyklus. Bei der Überführung dieses LMS in ein praxistaugliches Berichtssystem kommt die Forderung hinzu, dass Planung, Messung und Bericht zusammenpassen müssen [Ahlr06], also die Frage nach dem

Zeitpunkt des Informationsbedarfs. Um letztlich nur das zu messen, was für die Steuerung und Analyse von Karosseriebauprojekten relevant ist, ist zu klären:

- welcher Bedarf an Kennzahlen zu welchem Zeitpunkt des Projekts besteht, und
- zu welchem Zeitpunkt die Messung erfolgen muss, um frühzeitig Schwachstellen aufzudecken.

Als „Zeitpunkte“ werden dabei die Meilensteine verstanden, die jeweils das Ende bzw. den Beginn einer der Phasen der Grobplanung kennzeichnen. Für den Automobil – PEP sind diese Meilensteine die Projektfeasibility, der Konzeptfreeze, das Lastenheft und das Datenkontrollmodell. Dabei stellt der Abschluss der Projektfeasibility den Beginn der Grobplanung dar und die Erstellung des Datenkontrollmodells deren Ende. Daran schließt die Feinplanung an. Jede Phase der Grobplanung ist durch eine Kunden-Lieferantenbeziehung gekennzeichnet, welche durch die Eingangs- und Ausgangsdaten, sowie durch die Informationstransformation in den Phasen beschrieben wird (vgl. Verkettung der Prozesselemente in dem Prozessmodell Karosseriebau). Abbildung 42 zeigt die Inhalte der Meilensteine der Grobplanungsphase, die detaillierte Analyse der Ergebnisse der Phasen der Grobplanung ist in Anlage 7 dargestellt.

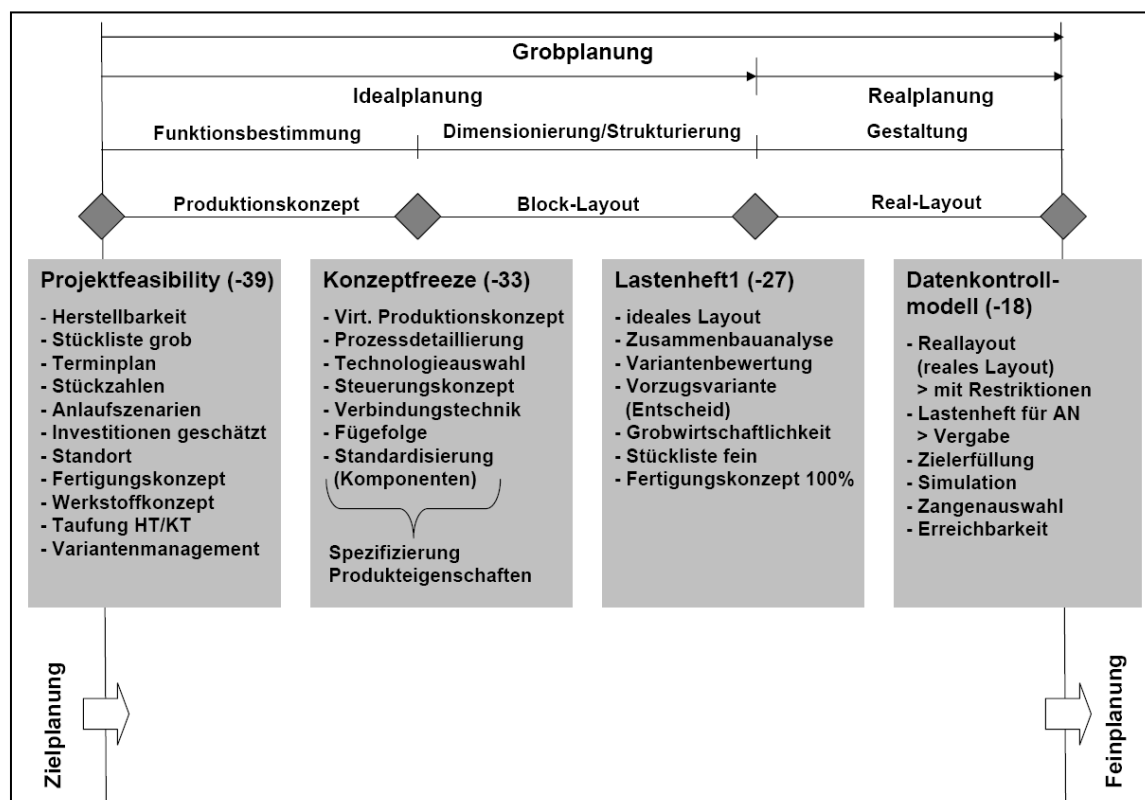


Abbildung 42: Inhalte der Meilensteine der Grobplanungsphase (Darstellung [CARL07])

Aus den Ergebnissen der einzelnen Phasen der Grobplanung, lässt sich für jede Perspektive des LMS der Bedarf an Kennzahlen festlegen. Ziel dabei ist, das Ergebnis einer Phase mit Kennzahlen erfassen und bewerten zu können. Dabei fällt

auf, dass zu Beginn der Grobplanungsphase insbesondere Kennzahlen der Potentialperspektive von Bedeutung sind, während mit zunehmender Genauigkeit der Planung Informationen zu der Prozess- und Kostenperspektive an Bedeutung gewinnen. Abbildung 43 ordnet den Phasen der Grobplanung die Perspektiven des LMS zu, deren Kennzahlen hauptsächlich von Interesse sind.

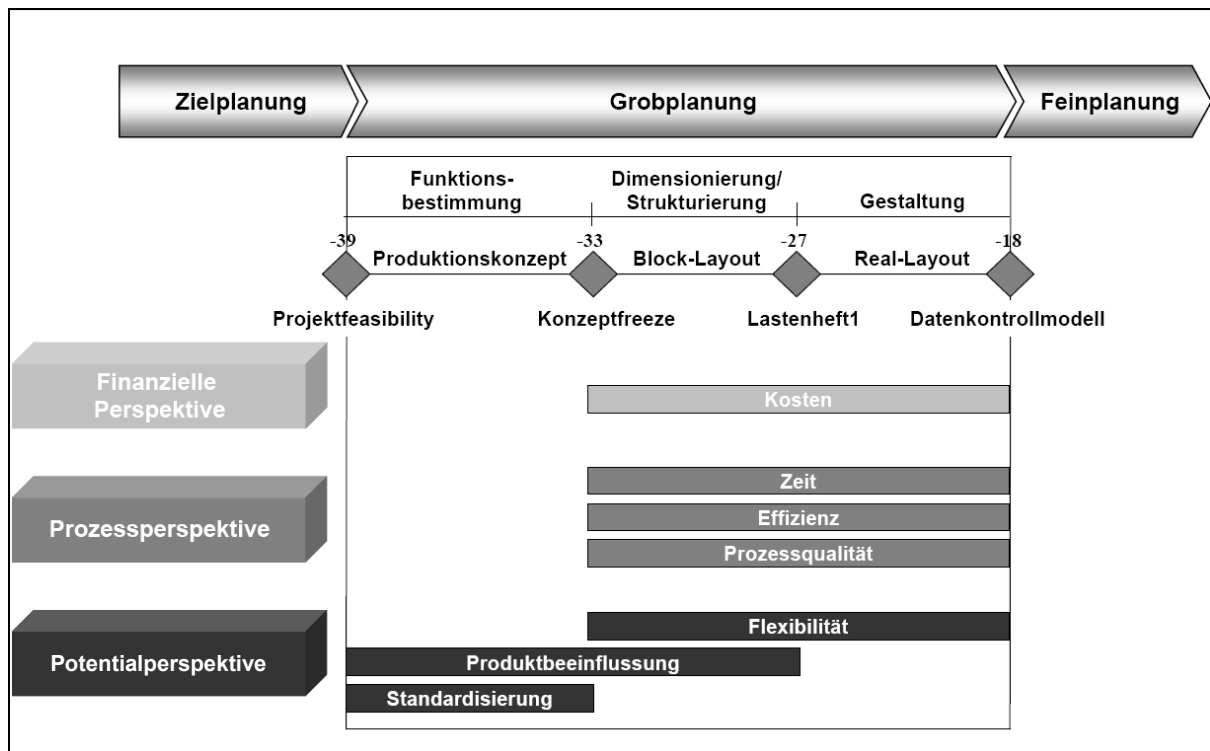


Abbildung 43: Kennzahlenbedarf über die Phasen der Grobplanung

### Datenverfügbarkeit über den Projektverlauf

Das entwickelte dynamische Leistungsmesssystem liefert über den Lebenszyklus einer Fertigungsanlage, je nach Bedarf, unterschiedliche Informationen. In diesem Kapitel wird die Verfügbarkeit der Kennzahlen über den Projektverlauf untersucht. Dabei stellt wiederum die Grobplanung den Betrachtungsschwerpunkt dar.

Die Datenverfügbarkeit wird anhand von zwei Leitfragen untersucht:

- Welche Eingangsdaten liegen im Unternehmen vor, die zur Deckung des Kennzahlenbedarfs benötigt werden?
- In welcher Datenquelle (Datenformat) liegen diese Daten vor und wie kann auf sie zugegriffen werden?

Zunächst werden sämtliche Kennzahlen des Kennzahlensystems in ihre Eingangsdaten aufgeschlüsselt. Diese werden dann auf den Zeitpunkt und das Format ihrer Verfügbarkeit im Unternehmen untersucht. Die Systeme und Programme werden auf die Bereitstellung der Information geprüft. Von Interesse ist dabei, wann die Informationen erstmals im Verlauf des Projekts auftreten, wann diese die erforderliche Genauigkeit und Aktualität haben und wer auf sie Einfluss hat. Die detaillierten Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Anlage 8 dargestellt.

Zusammenfassend werden die Daten nach WEYERKE [Weye01] in drei Klassen unterteilt:

- Unmittelbar nutzbare Daten (liegen in maschinell verarbeitbarer Form vor)
- Direkt erschließbare Daten (Daten liegen im Unternehmen vor)
- Nicht vorhandene, beschaffbare Daten (intern od. extern beschaffbar)

Der Abgleich mit dem Bedarf nach diesen Eingangsgrößen aus Kapitel 3.1.1 ergibt, dass die benötigten Informationen im Unternehmen zum Bedarfszeitpunkt vorhanden sind. Allerdings unterscheiden sich die Systeme und das Datenformat, in denen die Daten vorliegen. Für die Verwendung der Daten in dem LMS müssen sie in das zugrunde liegende Datenmodell überführt werden (vgl. objektorientierte Gliederung der Daten in den Prozesselementen, Kapitel 2.1). Über 90% der benötigten Daten können der ersten Gruppe zugeordnet werden, sind also direkt verfügbar. Die restlichen Daten sind im Unternehmen vorhanden, müssen aber erst systemseitig verfügbar gemacht werden. Der größte Teil der Daten ist im *Virtuellen Karosseriebau* vorhanden. Hier werden sowohl aktuelle Produktdaten hinterlegt, sowie sämtliche Daten zum Fertigungsprozess, also beispielsweise Ressourcenauslastung, Mengengerüst, Durchlaufzeit. Der *Virtuelle Karosseriebau* ermöglicht die redundanzfreie und aktuelle Erfassung aller relevanten Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten und bestätigt somit seine Eignung als Basis zur Implementierung des LMS (vgl. [Lind06]).

### **Ermittlung der Sollwerte**

Viele der verwendeten Kennzahlen stellen als Verhältniszahlen den Grad der Leistungserfüllung dar (Soll-Ist-Vergleich). Die Vorgabe der Sollwerte wurde in der Analyse der Verfügbarkeit der Eingangsdaten der Gruppe der „zu erschließenden Daten“ zugeordnet. Diese Daten entstehen in einer dynamischen, projektbegleitenden Abstimmung mit der Führungsebene. Die Ergebnisse parallel laufender Benchmark – Aktivitäten können beispielsweise die Zielvorgaben innerhalb des Projekts beeinflussen und somit die jeweils aktuelle Leistungserfüllung. Ferner bilden die Sollwerte die Grundlage der Berichterstattung. Sie stellen die Grenzwerte für die Zuordnung von Ampelfarben zu den einzelnen Kennzahlen dar, mit Hilfe derer die Leistungserfüllung visualisiert wird.

Aus diesen Gründen wird hier der Entstehung der Sollwerte besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Nach MURR wird ein Merkmal eines Prozesses dann zum Ziel, wenn „ein Zielwert oder Zielkorridor [...] quantitativ festgelegt wird“ [Murr99]. Es wird untersucht, welche Referenzen zur Bildung von Sollwerten genutzt werden können. Dazu eignen sich insbesondere Informationen aus Vorgängerprojekten, Benchmarkaktivitäten und der Wettbewerbsanalyse. Abbildung 44 zeigt die Datenrückkoppelung zur Planung aus parallel laufenden Projekten (z.B. laufende Fertigung) als erweiterten Regelkreis der Produktionsplanung.

#### Legende

PPP: Produktionsprogrammplanung

PS: Produktionssteuerung

BDE: Betriebsdatenerfassung

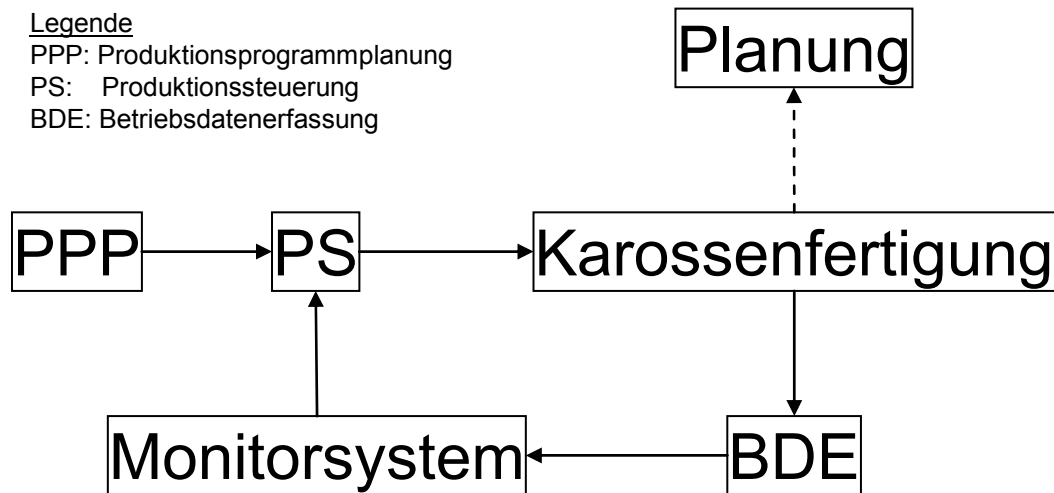


Abbildung 44: Erweiterung des Monitorregelkreises der Fertigung um die Schnittstelle zur Planung (unter Verwendung von [Wien96])

Eine direkte Übernahme dieser Zahlen als Sollwerte für ein Neuprojekt ist jedoch nur selten möglich. Vielmehr werden diese als Basis herangezogen, um unter Berücksichtigung produkt- und projektspezifischer Faktoren (Produkteigenschaften, Stückzahl, Fertigungskonzept...) Sollwerte abzustimmen. Dabei wird für jede verwendete Kennzahl ein Zielkorridor festgelegt. Außerdem werden zur Priorisierung des Handlungsbedarfs pro Kennzahl zwei Grenzwerte definiert: *Zielerreichung gefährdet* (gelbe Ampel) und *Ziel verfehlt* (rote Ampel). Ist der Wert der Kennzahl besser als der Grenzwert der Gelben Ampel schaltet diese auf grün und signalisiert so die Zielerreichung. Tabelle 8 zeigt das Ergebnis der Grenzwertdefinition und weist jeder Kennzahl des LMS Zielkorridore zu. Für diese Untersuchung wurde die Schweißgruppe *Boden Hinten* eines Fahrzeugs aus dem A-Segment herangezogen, da diese aufgrund der spezifischen Produkt und Prozesseigenschaften als repräsentativ für den Karosseriebau eingeschätzt wird.

Bei der Definition der Zielvorgaben ist die projektbegleitende Überprüfung der Richtigkeit der Zeile der Schlüssel zu einem effizienten und effektiven Planungsprozess. Nur wenn die Ziele herausfordernd, realistisch und strategiekonform sind, dienen sie der Verbesserung der Leistung des Karosseriebaus und erhöhen dabei die Motivation der Projektbeteiligten. Zur Sicherstellung der Transparenz der Zielwertentstehung werden in dem vorliegenden Beispiel die Zielwerte rechnerisch ermittelt und anschließend in Workshops mit Planern und Entscheidern empirisch bestätigt. Dies hat den Vorteil, dass neben den systemseitig verfügbaren Vergleichswerten aus laufender Fertigung und Benchmarking die Projekterfahrung der Mitarbeiter in die Zielwertbildung einfließt und eine hohe Identifikation mit den Zielwerten ermöglicht. Tabelle 8 stellt die Zielkorridore für die Hauptkennzahlen des Karosseriebaus in dem Fallbeispielunternehmen dar.

<b>Kennzahl:</b>			
Herstellkosten BoHi [€/Fzg.]	$x \leq 36$	$36 < x < 40$	$x \geq 40$
Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest [%]	$x \leq 30$	$30 < x \leq 40$	$x > 40$
Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest [%]	$x \leq 13$	$13 < x \leq 18$	$x > 18$
Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest [%]	$x \leq 30$	$30 < x \leq 45$	$x > 45$
Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten [%]	$x \leq 18$	$18 < x \leq 20$	$x > 20$
DLZ- Effizienz [%]	$x \geq 20$	$15 \leq x < 20$	$x < 15$
Produktionskoeffizient Personal [min./SGR]	$x \leq 13$	$13 < x < 16$	$x \geq 16$
Produktionskoeffizient Fläche [m²/SGR]	$2 < x \leq 3,5$	$x \geq 3,5$	$x \leq 2$
Produktionskoeffizient Invest [€/SGR]	$x \leq 10$	$10 < x < 15$	$x \geq 15$
Ø Auslastung der Einleger (HSGR) [%]	$x \geq 88$	$75 < x < 88$	$x \leq 75$
Ø Auslastung der Roboter WSP (SK) [%]	$x \geq 75$	$50 \leq x < 75$	$x < 50$
GAE (HSGR) [%]	$x \geq 85$	$83 < x < 85$	$x \leq 83$
GAE (technische Verfügbarkeit) SK [%]	$x \geq 98$	$95 \leq x < 98$	$x < 95$
Stückzahlflexibilität (HSGR) [%]	$x \geq 40$	$30 < x < 40$	$x \leq 30$
Anpassungsflexibilität (HSGR) [%]	$x \geq 70$	$50 \leq x < 70$	$x < 50$
# normierter Verbindungsäquivalente (HSGR) [#VÄ/BoHi]	$x \leq 700$	$700 < x \leq 800$	$x > 800$
# verwendeter Fügetechnologien (HSGR)	$x \leq 3$	$3 < x \leq 6$	$x > 6$
# verwendeter Fügetechnologien (SK)	$x = 1$	$x = 2$	$x > 2$
Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik [%]	$x \geq 95$	$85 \leq x < 95$	$x < 85$
Anteil warmumgeformter Stähle (HSGR) [%]	$x \leq 10$	$10 < x \leq 20$	$x > 20$
# Varianten (HSGR)	$x \leq 2$	$2 < x \leq 4$	$x > 4$
# Varianten (SK)	$x = 1$	$x = 2$	$x > 2$
Wiederverwendungsgrad [%]	$x \geq 40$	$25 \leq x < 40$	$x < 25$
Anteil standardisierter Komponenten [%]	$x \geq 95$	$90 \leq x < 95$	$x < 90$
Anteil standardisierter Fügetechnologien [%]	$x \geq 95$	$90 \leq x < 95$	$x < 90$
Anteil Geo's mit standardisierter Fügefolge [%]	$x \geq 95$	$90 \leq x < 95$	$x < 90$
Anteil standardisierter Baugruppen (HSGR) [%]	$x \geq 75$	$50 \leq x < 75$	$x < 50$
COP- Anteil (HSGR) [%]	$x \geq 75$	$50 \leq x < 75$	$x < 50$

Tabelle 8: Zielkorridore der Hauptkennzahlen des Karosseriebaus am Beispiel der Schweißgruppe „Boden Hinten“

### 3.1.2 Visualisierung der Leistungssituation

Nach BURGHARDT ist die transparente Aufbereitung und gezielte Verteilung von Projektinformationen die Voraussetzung für eine optimale Projektdurchführung [Burg06]. In der vorliegenden Arbeit wurde bereits dargestellt, welche Kennzahlen zur Leistungsmessung im Karosseriebau von Bedeutung sind. In diesem Kapitel wird untersucht, wie diese Kennzahlen berichtet werden müssen, um die ermittelte Leistungssituation transparent darzustellen. So werden Entscheidungen unterstützt und Schwachstellen aufgedeckt.

Abbildung 45 zeigt die Potentiale, die ein projektbegleitendes Berichtssystem bietet. Nach PLÜMER muss ein Berichtssystem die im Planungsprozess erzeugten Daten benutzungs- und benutzergerecht aufbereiten um eine umfassende Praxis-tauglichkeit zu gewährleisten [Plüm00]. Dabei wird für die Sollwertbildung, wie in Kapitel 3.1.2 beschrieben, auf Daten aus dem Benchmarking und Vorgängerprojekten zurückgegriffen. Die Darstellung dieser Sollwerte im

Berichtssystem ermöglicht eine hohe Transparenz der Zielwertvorgaben. So wird die Kommunikation zwischen strategischem Management und operativem Tagesgeschäft verbessert. Bei dem entwickelten LMS handelt es sich um ein dynamisches System, welches auf tagesaktuelle Anpassungen der Zielwerte und Planungsergebnisse reagiert. Der daraus resultierende fortlaufende Soll-Ist-Vergleich ermöglicht eine hohe Aktualität der Berichte und eine Darstellung der Leistungsentwicklung. Die Überleitung der Ergebnisse aus Kapitel 2 in die Praxis wird in dieser Arbeit am Beispiel der Grobplanungsphase aufgezeigt. Es wird jedoch darauf verwiesen, dass der projektbegleitende Leistungsbericht die Phase der Karossen-Produktion einschließt. Der Leistungsbericht kann in der Fertigung beispielsweise zum Aufzeigen von Leistungsverbesserungen durch KVP – Maßnahmen eingesetzt werden. Diese Ergebnisse dienen dann parallel laufenden Planungsprojekten als Eingangsgrößen zur Zielwertdefinition (siehe Regelkreis in Kapitel 3.1.1).

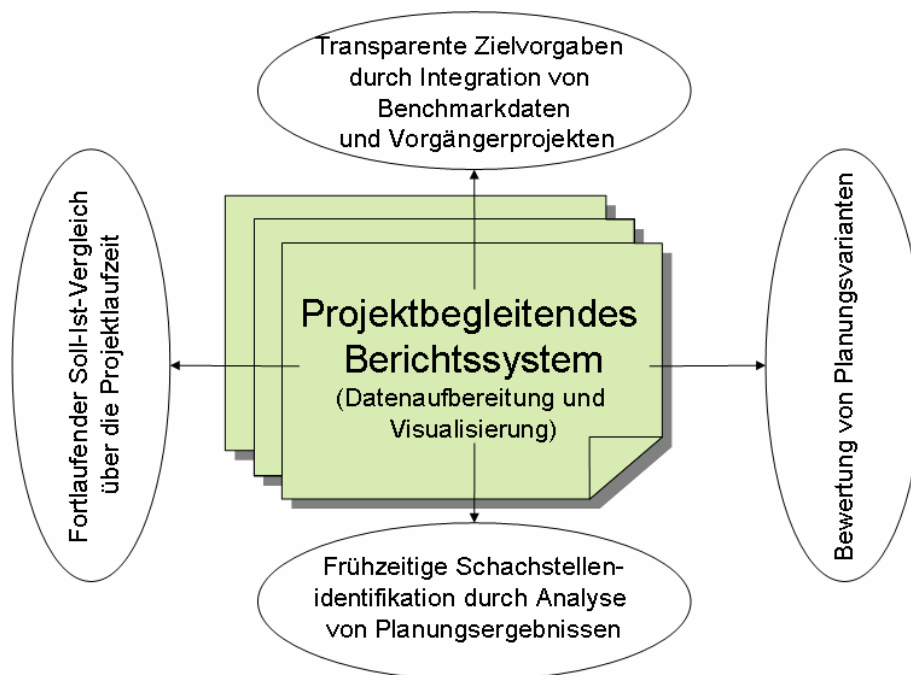


Abbildung 45: Potentiale eines projektbegleitenden Berichtssystems

Diese Aktualität der Leistungserfassung lässt bereits zur frühen Projektphase die Analyse der Planungsergebnisse zu. Schwachstellen des jeweils aktuellen Planungsstands können frühzeitig erkannt und deren Ursachen diagnostiziert werden (Frühwarnfunktion)<sup>15</sup>. So kann beispielsweise zu Projektbeginn eine Aussage über die Auswirkung des Einsatzes unterschiedlicher Fertigungstechnologien gemacht werden und deren Auswirkung auf die Leistung des Karosseriebaus aufgezeigt werden. Die Rolle des Planers in den SE-Teams der frühen PEP-Phase wird so

<sup>15</sup> Dies ist insbesondere bei kürzer werdenden Produktentstehungszeiträumen von Bedeutung. In diesem Zusammenhang fordert BIERWIRTH frühzeitig entwickelte Konzepte schnell zu detaillieren, zu validieren und zu modifizieren [Bier04].

bedeutend gestärkt, was einer fertigungsgerechten Produktbeeinflussung zugute kommt. Gerade in dieser frühen Phase sind solche Entscheidungen von großer Bedeutung, da zu diesem Zeitpunkt die Beeinflussbarkeit der Leistung der späteren Produktion am größten ist (siehe Abbildung 46). Auch weitere langfristige Potentiale, wie Flexibilität, Gleichteilübernahme und Wiederverwendung von Anlagen müssen zu dieser Phase erschlossen werden und sind zu einem späteren Zeitpunkt nur noch schwer umzusetzen.

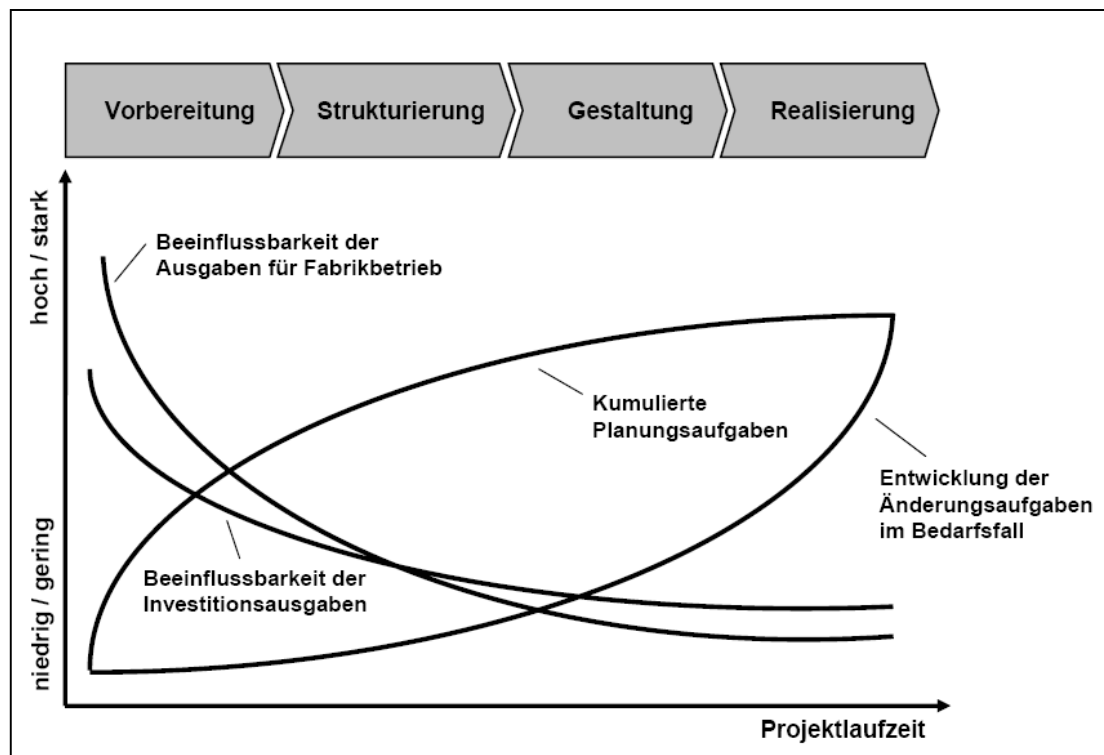


Abbildung 46: Beeinflussbarkeit von Ausgaben in der Fabrikplanung [Kola05]

Mit der standardisierten Erfassung und Verarbeitung der Planungsdaten im LMS und deren einheitlicher Visualisierung, bietet das Berichtssystem ein ausgezeichnetes Werkzeug zur umfassenden und objektiven Variantenbewertung. Nicht nur zur Auswahl der Vorzugsvariante, welche zur Detaillierung in der Feinplanungsphase freigegeben wird, dient die Variantenbewertung. Das Tool dient auch zur Entscheidungsunterstützung bei der Definition der Fertigungstiefe oder des Fertigungsstandorts in der Grobplanungsphase. Darüber hinaus ist auf Arbeitsebene ein Vergleich unterschiedlicher Varianten eines gleichen Anlagenbereichs z.B. bezüglich der Flexibilität der Anlagen oder deren Qualität möglich. Somit kann die Wirkung von Entscheidungen (unterschiedlicher Hierarchie – Ebenen) zu unterschiedlichen Projektzeitpunkten aufgezeigt werden.

Um die im ersten Teil dieses Kapitels beschriebenen Potentiale nutzen zu können, muss das Berichtssystem nach SCHMELZER [Schm06] folgende Anforderungen erfüllen:



- Darstellung der Leistungssituation
- Darstellung der Leistungsentwicklung
- Darstellung von Abhängigkeiten und Zusammenhängen
- Visualisierung der Information (verständlich und aussagefähig)

Die Darstellung der Leistungssituation folgt dem Ziel, Handlungsbedarf sichtbar zu machen und die Notwendigkeit einer Veränderung aufzuzeigen. Für Abweichungen vom Sollwert werden Vorschläge unterbreitet und der Handlungsbedarf priorisiert. Um dies zu erzielen wird die Informationsdarstellung dem Bedarf des Bericht – Empfängers angepasst. Für den vorliegenden Fall ist es nahe liegend, die unterschiedlichen hierarchischen Ebenen des Prozessmodells auf das Berichtssystem zu übertragen und den Ebenen der Organisation zuzuordnen. Auf diese Weise wird die Information auf den erforderlichen Abstraktionsgrad verdichtet.

Um die dargestellte Leistungssituation bewertbar zu machen, ist die Darstellung der Leistungsentwicklung unabdingbar. Der Trend der Leistungsentwicklung kann durch eine Darstellung der relevanten Leistungsdaten über die Zeit erfolgen.

Um das Leistungsoptimum über die Prozesskette zu erreichen, muss diese bei Entscheidungen stets im Blickfeld sein (vgl. [Ahlr06]). Es ist also nicht sinnvoll, erkannte Schwachstellen bestmöglich zu beheben, sondern den gesamten Prozess leistungsfähig zu gestalten. Dazu muss das Berichtssystem Abhängigkeiten zwischen den Prozessebenen und den Leistungsperspektiven aufzeigen. Es müssen also alle hierarchischen Ebenen des Prozessmodells in das Berichtssystem integriert werden.

Ein Berichtssystem wird sich jedoch nur in einer Organisation durchsetzen können, wenn die übermittelten Informationen von den Empfängern akzeptiert werden. Der Visualisierung der Information kommt in diesem Zusammenhang große Bedeutung zu. Bei der Darstellung müssen der Detaillierungsgrad, der Bedarf, die Menge und die Darstellungsform auf die Bedürfnisse der Empfänger gut abgestimmt sein. Als Empfänger des Berichts kommen zwei Gruppen mit grundlegend unterschiedlichen Aufgaben und somit Anforderungen an das Berichtssystem vor: Entscheider in der Management – Ebene und Planer auf der operativen Ebene. In den nächsten zwei Kapiteln werden die spezifischen Berichte für diese zwei Gruppen entworfen.

### **Leistungsbericht auf Arbeitsebene**

Die Aufgabe der Planer besteht darin, Fertigungskonzepte zu entwerfen, die im Verlauf des Projekts konkretisiert und detailliert werden und bei Bedarf angepasst oder gar abgeändert werden. Ziel des LMS ist eine fortlaufende Beurteilung der Planungsergebnisse und insbesondere eine frühzeitige Identifikation von Schwachstellen zu ermöglichen. Dazu schlägt GRÜNER vor, konkrete Detailinformationen permanent zur Verfügung zu stellen, um Schwachstellen im Wertschöpfungsprozess aufzudecken und rechtzeitig Korrekturmaßnahmen einleiten zu können [Grün01].

Als prozessorientiertes Planungsinstrument sieht das entwickelte LMS bereits das Herunterbrechen auf Prozesselemente, anstelle betrieblicher Organisationseinheiten vor um eine bessere Prozessorientierung zu erreichen (vgl. [Ahlr06]). Das reine Darstellen der Leistung der Prozesselemente stellt jedoch keine zufriedenstellende Lösung für die Praxis dar. Vielmehr muss die Möglichkeit geschaffen werden, die im Verantwortungsbereich des Berichtsempfängers liegende Prozesskette zusammenhängend darzustellen.

Um die Forderungen nach Detailinformationen einerseits und prozessorientierter Darstellung andererseits zu erfüllen, wird als Bericht für den Planer eine Cockpit-Visualisierung umgesetzt. Diese bietet die Möglichkeit, die Leistung der Prozesselemente und des übergeordneten Anlagenbereichs zusammenhängend darzustellen. So werden Abhängigkeiten zwischen den Leistungsebenen *Schutzkreis* und *Anlage* (vgl. Kapitel 2.2.2 zum Aufbau des LMS) sichtbar gemacht. Damit aus der Darstellung Handlungsbedarf unmittelbar sichtbar wird, bietet sich eine Visualisierung durch Ampelsignale an. Dabei werden die in Kapitel 3.1.1 definierten Sollwerte als Grenzwerte für das Umschalten der Ampelfarben verwendet.

Abbildung 47 stellt zusammenfassend das Prozesscockpit für den Planer am Beispiel der 14 Schutzkreise der Anlage *Boden Hinten* dar.

Perspektive	Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Einheit	SK1	SK2	SK3	SK4	SK5	SK6	SK7	SK8	SK9	SK10	SK11	SK12	SK13	SK14	BoHi
Finanz-Perspektive	Kosten	Kosten reduzieren	Herstellkosten	€/Fzg.	4,72	4,00	1,13	0,70	4,63	3,97	1,10	0,70	6,76	1,84	4,66	3,51	1,63	0,66	39,99
		Fixe Kosten reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	€/Fzg.	1,62	1,26	0,92	0,54	1,56	1,24	0,90	0,52	3,39	1,34	1,65	1,83	0,94	0,49	18,21
	Anlagen-Invest	Invest Robot	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	%	23	31	16	23	23	32	17	23	17	36	35	28	51	40	27
		Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	%	12	12	6	5	13	12	6	6	6	11	33	14	6	12	
		Invest Messtechnik	Anteil Invest für Messtechnik am Gesamtinvest	%	0	0	0	11	0	0	0	11	0	0	0	0	0	12	1
		Invest Fördererntechnik	Anteil Invest für Fördererntechnik am Gesamtinvest	%	0	0	0	14	0	0	0	43	5	6	9	6	0	0	4
		Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Spanntechnik am Gesamtinvest	%	44	38	47	16	45	41	49	16	49	42	21	32	17	33	30
		Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	€/Fzg.	0,05	0,05	0,01	0,03	0,06	0,04	0,01	0,04	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,59
		Variable Kosten reduzieren																	
		Personalkosten reduzieren	Kosten für Personal	€/Fzg.	2,20	2,17	0,10	0,06	2,19	2,17	0,09	0,06	2,35	0,16	2,19	0,23	0,12	0,05	14,14
		sonstige Kosten reduzieren	Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten	%	18,09	13,01	9,12	9,93	17,58	12,97	9,39	11,12	14,07	15,05	16,35	39,80	32,03	14,04	17,65
Interne (Prozess-) Perspektive	Zeit	DLZ reduzieren	DLZ gesamt	s/Einheit	1000	900	500	280	1000	900	500	440	1500	780	596	1000	500	500	5436
		DLZ gesamt reduzieren	DLZ-Effizienz	%	16,50	19,67	18,60	26,43	16,50	19,67	18,60	16,82	10,06	32,05	20,30	13,30	43,90	10,30	18,76
	Effizienz	Effizienz steigern																	
		Personaleinsatz reduzieren	Produktionskoeffizient Personal	min/SOR															16,84
		Fläche reduzieren	Produktionskoeffizient Fläche	m²/SOR															2,34
		Invest reduzieren	Produktionskoeffizient Invest	€/SOR															13,85
	Qualität	Komponentenauslastung erhöhen	Ø Auslastung der Roboter WSP	%	71,00	76,00	93,00	84,00	71,00	76,00	93,00	84,00	45,67	75,00	33,50	54,00	57,80	21,00	
		Komponentenauslastung erhöhen	Ø Auslastung der Einleger	%	65,78	64,34			70,69	64,33			69,31		78,95				68,90
	Prozessqualität	Produktqualität erhöhen																	
		Geometrie verbessern	Anteil roter Funktionsmaße	%															
Lern- und Entwicklungsperspektive	Flexibilität	Festigkeit erhöhen	Bemusterungsrate	%															
		Prozessqualität erhöhen																	
	Flexibilität	GAE erhöhen	Technische Verfügbarkeit der SK	%	96,97	98,08	95,64	96,82	96,97	98,08	95,64	96,82	94,61	98,10	97,35	93,74	98,06	96,76	85,00
		GAE erhöhen	GAE	%															
		Flexibilität erhöhen																	
		Produktflexibilität erhöhen	# Derivate/SOR	#Der./#SOR															2
	Produktbeeinflussung	Stückzahlflexibilität erhöhen	Mehrkosten pro SK (0,5 Stückzahl) im Vergleich zu Kosten auf Kaminlinie	%															35,32
		Anpassungsflexibilität erhöhen	Kosten zur Einbringung eines neuen Derivats bezogen auf Erstinvest	%															64,29
		Produktbeeinflussung stärken																	
		Verbindungstechnik reduzieren	# normierter Verbindungäquivalente	#/SK	58	64	31	28	58	64	31	28	41	100	40	156	80	7	785
Lern- und Entwicklungsperspektive	Produktbeeinflussung	Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	#/SK	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	3	1	3	7
		Prozesssicherheit eingesehter Fügetechnik	Anteil "hängiger" Fügetechnologien	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	86,67	100	100	86,71
		Werkstoffmix reduzieren	Anteil warmumgeformter Stähle	%															19,00
		Produktkomplexität reduzieren																	
	Standardisierung	Teilanzahl reduzieren	Anzahl der Einzelteile	#/SK	16	9	0	0	17	9	0	0	16	0	20	0	0	0	87
		Variantenanzahl reduzieren	absolute Variantenvielfalt	#/SK	1	1	2	1	1	1	2	1	3	2	3	3	3	3	3
		Prozessstandards																	
		Anlagenstandards	Wiederverwendungsgrad	%															0,00
	Produktstandards	Komponentenstandards	Anteil standardisierter Komponenten	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		Fügetechnik standardisieren	Anteil standardisierter Fügetechnologien	%															100,00
		Fügetechnologien standardisieren	Anteil Geo's mit standardisierter Fügetechnologie	%															100,00
		Baugruppen standardisieren	Anteil standardisierter Baugruppen	%															50,00
Lern- und Entwicklungsperspektive	Produktstandards	Teile standardisieren	COP- Anteil	%															100,00
	Produktstandards	Fügetechnik standardisieren	Anteil standardisierter Fügetechnologien	%															100,00
		Fügetechnologien standardisieren	Anteil Geo's mit standardisierter Fügetechnologie	%															100,00
		Baugruppen standardisieren	Anteil standardisierter Baugruppen	%															50,00
		Teile standardisieren	COP- Anteil	%															100,00
	Produktstandards																		

Abbildung 47: Der Leistungsbericht für den Planer

## Leistungsbericht auf Managementebene

Investitionsentscheidungen werden von Mitarbeitern der Management – Ebene getroffen, die sich in der Regel nicht mit der operativen Planung der Fertigungskonzepte befassen. Ihnen werden konkrete Planungsalternativen zur Entscheidung vorgelegt, wobei sich ihre Entscheidung an der strategischen Ausrichtung des Unternehmens orientiert. Auch die Einhaltung der übergeordneten Zielgrößen wird vom Management (z.B. Projektleitung) verfolgt, um bei Abweichungen eingreifen zu können.

Für diese Empfänger muss das Berichtssystem eine fundierte Entscheidungsgrundlage, sowie ein aussagefähiges Projektmonitoring ermöglichen. Im Bezug auf die Aufmerksamkeit des Managements spricht HERING von einer der „knappsten Ressource in großen Unternehmen“ [Heri02], da die große Menge an Meinungen, Ereignissen und Meldungen, die auf Manager einströmt, deren Aufnahmekapazität auslastet. Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die Informationen im Management – Bericht zielgerichtet aggregiert und verständlich aufbereitet werden müssen.

Es liegt nahe, die acht strategischen Erfolgsfaktoren (SEF) des LMS als Bericht für das Management auszuwählen, da diese die Effizienz und Effektivität eines Karosseriebaus umfassend beschreiben (*Kosten, Zeit, Effizienz, Qualität, Flexibilität, Produktbeeinflussung und Standardisierung*). Diese acht Hauptkennzahlen lassen sich aus den jeweils untergeordneten Kennzahlen berechnen. Dazu wird der gleitende Durchschnitt der Zielerfüllungswerte dieser Kennzahlen gebildet. Die Zielerfüllung einer Kennzahl berechnet sich aus dem Verhältnis von Ist- zu Sollwert und wird in Prozent angegeben. Somit sind auch die aggregierten Hauptkennzahlen Prozentwerte. Diese lassen sich graphisch einheitlich und verständlich darstellen. Die Formeln zur Berechnung der Zielwerte und des gleitenden Durchschnitts finden sich in Anlage 9.

Bei der Erprobung der Praxistauglichkeit des Leistungsberichtes in dem Management des Fallbeispielunternehmens wird festgestellt, dass die Darstellung der SEF *Kosten* und *Zeit* zu Verständnisproblemen bei den Anwendern führt. Intuitiv wird bei diesen Kennzahlen ein Wert von über 100% als schlecht empfunden. Durch die Beschreibung der Zielerfüllung als Verhältnis von Ist zu Soll, stellt jedoch ein Wert von beispielsweise 110% eine Überschreitung des Zielwerts um 10%, also eine ausgesprochen gute Leistung dar. BURGHARDT schlägt dazu die Unterscheidung von „Leistungsgrößen“ und „Lastgrößen“ in der Entwicklungsplanung und –steuerung vor [Burg06]. Bei Leistungsgrößen (z.B. *Effizienz*) wird eine Maximierung angestrebt, bei Lastgrößen (z.B. *Kosten*) eine Minimierung. Die unterschiedlichen Formeln zur Berechnung der Zielerfüllung für Last- und Leistungsgrößen sind in Anlage 9 dargestellt.

Durch diese unterschiedliche Quotientenbildung werden Zielüberschreitungen bei zu maximierenden Leistungsgrößen und Zielunterschreitungen bei zu minimierenden Lastgrößen jeweils mit einer Zielerfüllung von über 100% dargestellt. Die Akzeptanz dieser Berichtsform wurde vom Management als deutlich besser empfunden, da

intuitiv ein kleiner Wert im Zusammenhang mit Kosten als „gut“ empfunden wird, während ein kleiner Wert bei der Beschreibung der Qualität einen Handlungsdrang auslöst.

In Kapitel 3.1.1 wurde auf die Bedeutung der dynamischen Sollwerte hingewiesen. Führt ein Benchmark zu neuen Erkenntnissen über die Leistung externer Mitbewerber, müssen die Sollwerte eines Projekts auf ihre Gültigkeit überprüft werden. Es interessiert also nicht nur die Leistungserfüllung gegenüber den selbstgesteckten Zielen, sondern auch die Leistung eines gegenwärtigen Planungsstandes im Vergleich zum externen Wettbewerb und zu internen Vergleichsprojekten. Der Managementbericht wird für jeden SEF um die Vergleichswerte zum *Vorgängermodel* (VGM) und zum *best in class* (BIC) ergänzt.

Abbildung 48 zeigt den Leistungsbericht, der dem Management in regelmäßigen Abständen (z.B. monatlich) vorgelegt wird. Darin wird jedem Soll – Ist –Vergleich (blauer Balken) als qualitative Tendaussage der Veränderung zum letzten Bericht dargestellt. Im linken Bereich des Berichts werden die Lastgrößen dargestellt, ein grüner Pfeil nach unten weist auf die Verbesserung der Leistung mit abnehmendem % - Wert hin. Auf der rechten Seite ist eine Verbesserung der Leistungsgrößen mit einer Erhöhung des blauen Balkens verbunden.

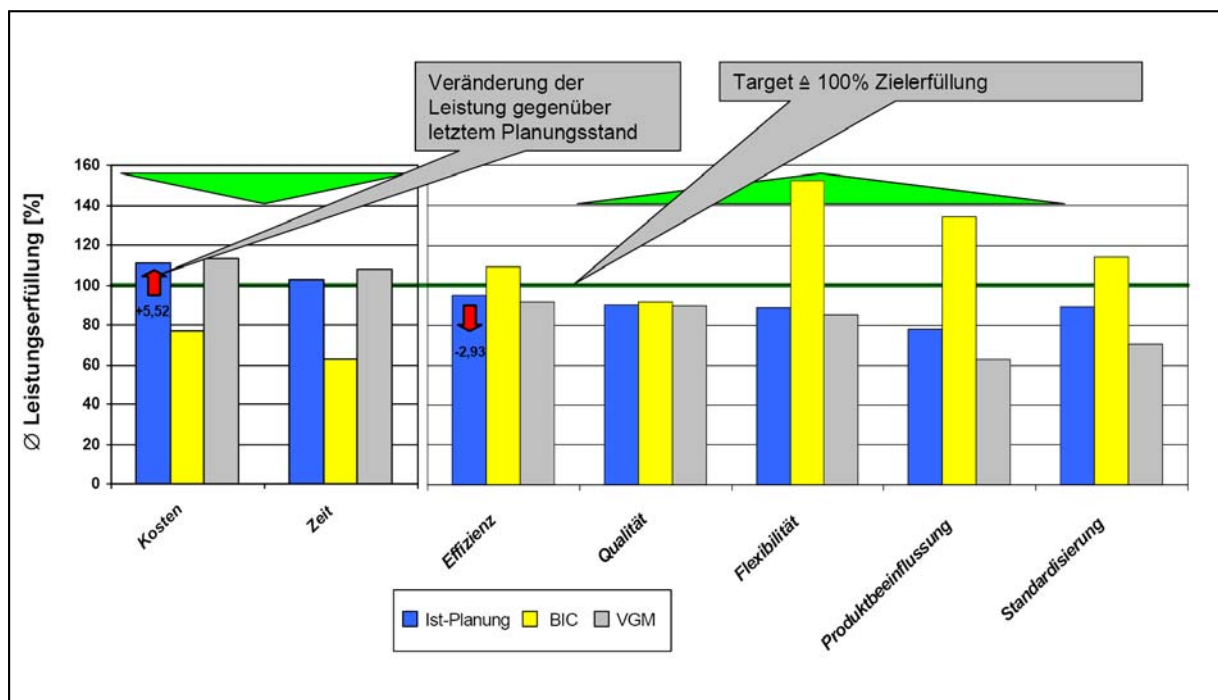


Abbildung 48: Der Leistungsbericht für die Management – Ebene

### 3.2 Erfahrungen aus der Nutzung des Leistungsmesssystems

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung eines LMS, das in die bestehende Systemlandschaft des *Virtuellen Karosseriebaus* integriert wird und so ohne bedeutenden Mehraufwand die Planung und den Betrieb eines Produktionssystems unterstützt.

Die eigentliche Programmierung des LMS als Modul der *Virtuellen Fabrik* ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, es muss jedoch sichergestellt werden, dass mit der vorliegenden Arbeit die Grundlagen dafür geschaffen sind. So sind sämtliche Formeln, Datenformate, Berichte und die Methodik der Leistungsmessung in dieser Arbeit enthalten. Um dies zu verifizieren und die Methodik der Leistungsmessung beispielhaft darzustellen, wird ein prototypisches EDV – Tool programmiert, mit dem eine statische Simulation des späteren LMS möglich ist. Mit der Implementierung der Methodik kann bereits eine erste Überprüfung der Regeln und Modelle im Anwendungszusammenhang erfolgen [Schm03]. Ferner kann mit diesem Prototyp anhand konkreter Fallbeispiele aus der Karosseriebaupraxis die inhaltliche und funktionelle Einsetzbarkeit des LMS nachgewiesen werden; dies erfolgt in Kapitel 3.2.

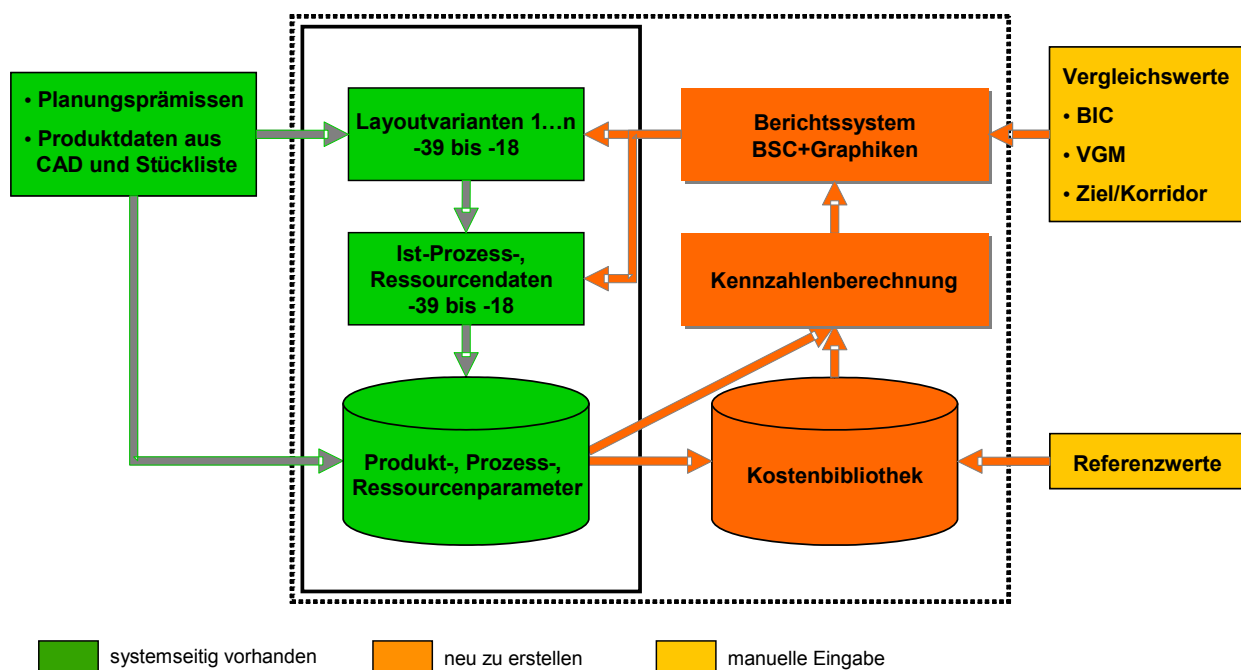


Abbildung 49: Integration des Leistungsmesssystems in den Planungsprozess

Abbildung 49 zeigt die Integration des LMS in den Planungsablauf. In der Abbildung orange dargestellte Module und Verknüpfungen werden in dem Prototyp neu programmiert und erstellt. Grün dargestellte Umfänge sind bereits im passenden Datenformat im Virtuellen Karosseriebau enthalten, während gelb gefärbte Daten einer manuellen Eingabe bedürfen.

Um die Wirkungsweise des Leistungsmesssystems in einem prototypischen EDV – Tool aufzuzeigen, müssen die notwendigen Datenträger spezifiziert werden und die Zusammenhänge zwischen und innerhalb der Leistungsebenen umgesetzt werden. So können Ursache – Wirkungsbeziehungen zwischen den Kennzahlen und die Dynamik des Gesamtsystems aufgezeigt werden. Um die Struktur des Daten- und Prozessmodells (vgl. Kapitel 2.1) in einem konkreten Datenbankmodell umzusetzen bietet sich *Microsoft Excel* an. Für die statische Abbildung der Methode ist der Leistungsumfang dieses Programms ausreichend.

Zur Simulation von Prozessketten sind auf dem Markt viele Simulationstools vorhanden (Simple++, Logichain, Flexifein, ...). Diese Tools sind jedoch für die vorliegende Aufgabenstellung nicht geeignet. Zum einen sind diese Werkzeuge sehr speziell für definierte Aufgaben erstellt; die Anpassung dieser komplexen Tools auf den vorliegenden Untersuchungsgegenstand daher aufwändig. Zum anderen ist ein dynamisches Simulationstool für die Aufgabenstellung überflüssig, da hier lediglich eine kombinatorische Aufgabe zu lösen ist (Variantenvergleich über den Projektverlauf und Kostensimulation). Eine statische Simulation, also die Selektion von Parametern aus einer Vielzahl hinterlegter Werte, ist ausreichend. Außerdem bietet die Berechnung in *Microsoft Excel* eine große Flexibilität bezüglich der Programmierung. So kann das statische Tool optimal auf die späteren Anforderungen der Datenbank-Lösung im *Virtuellen Karosseriebau* angepasst werden. Nach der Definition der Richtlinie [VDI 3633] kennzeichnet die Simulation, das „*Nachbilden eines Systems [...] in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind*“. Da diese Kriterien für das programmierte prototypische EDV-Tool zutreffen, ist der Begriff Simulation zur Beschreibung des Vorgehens angebracht.

In dem konkreten Fall wird das Simulationstool für den Anlagenbereich *Boden Hinten* aufgebaut. Dazu wird zunächst ein Projektierungsblatt angelegt, welches grundlegende Prämissen enthält, die zur Berechnung der Kennzahlen erforderlich sind (z.B. Ausbringungsmenge, Taktzeit). Anschließend wird für jedes Prozesselement und für die übergeordnete Anlage ein Datenblatt mit den jeweiligen Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten angelegt. Somit ist das im *Virtuellen Karosseriebau* vorhandene Datengerüst abgebildet (siehe Anlage 11). Zur Berechnung der Kennzahlen der Finanzperspektive ist eine Kostenbibliothek erforderlich. Diese enthält sowohl Informationen zu Investitionen, Gemein- und Einzelkosten als auch Referenzwerte zur verursachungsgerechten Ermittlung der Energie-, Medien-, Instandhaltungs- und Logistikkosten der Prozesselemente (vgl. Prozesskostenrechnung in Kapitel 2.2.3). Die Kostenbibliothek ist in Anlage 10 dargestellt. Die Berechnung der Kennzahlen erfolgt in einem separaten Tabellenblatt, welches auf die Prozessdatenblätter, die Kostenbibliothek und das Projektierungsblatt zugreift. Hier sind die Berechnungsvorschriften für alle Kennzahlen allgemeingültig hinterlegt. Das Ergebnis der Kennzahlenberechnung fließt in das Berichtblatt ein. Über eine bedingte Formatierung der Excel-Zellen wird

jeder Kennzahl in Abhängigkeit ihrer Zielwerterfüllung (siehe Definition der Zielkorridore in Kapitel 3.1.1) die zutreffende Ampelfarbe hinterlegt.

Die nachfolgenden Untersuchungen wurden mit dem Simulationstool durchgeführt, auch die dargestellten Abbildungen werden von dem EDV – Prototypen geliefert.

### 3.2.1 Variantenbewertung

In Kapitel 3.1 wurde bereits auf die Aufgaben des Managements im Bezug auf Produktionssysteme eingegangen. In diesem Kapitel wird an Beispielen aus der Praxis die Funktionsweise des Berichtsystems bei Variantenbewertungen aufgezeigt. Im Fallbeispielunternehmen war für ein neues Fahrzeugprojekt im B – Segment eine flexible Karosseriebaulinie geplant worden. Diese Linie sah die Fertigung zweier unterschiedlicher Karosseriederivate vor, die mit der Losgröße 1, also ohne Verluste der Prozesszeit (Parallelschaltung von Rüstzeit und Hauptzeit) im freien Mix gefertigt werden konnten. Parallel zur Grobplanungsphase wurden Flexibilitätskonzepte von Mitbewerbern in einem Benchmark untersucht. Es zeigte sich, dass flexible Karosseriebaulinien je nach tatsächlicher Varianz des Produkts, bis zu sieben unterschiedliche Derivate auf einer Linie herstellen. Daraus erging der Auftrag, eine Karosseriebaulinie mit vier anstatt zwei Derivaten für das neue Projekt zu bewerten. Im Folgenden wird der Planungsstand mit zwei Derivaten dem mit vier gegenübergestellt. Dazu werden die Planungsergebnisse vollständig in den Simulator übertragen. Daraus resultiert die Berechnung sämtlicher Kennzahlen, sowie der komprimierten Erfolgsfaktoren für den Managementbericht. Abbildung 50 stellt als Absprungbasis für die Variantenbewertung den Planungsstand 34 Monate vor SOP mit zwei Derivaten dar.

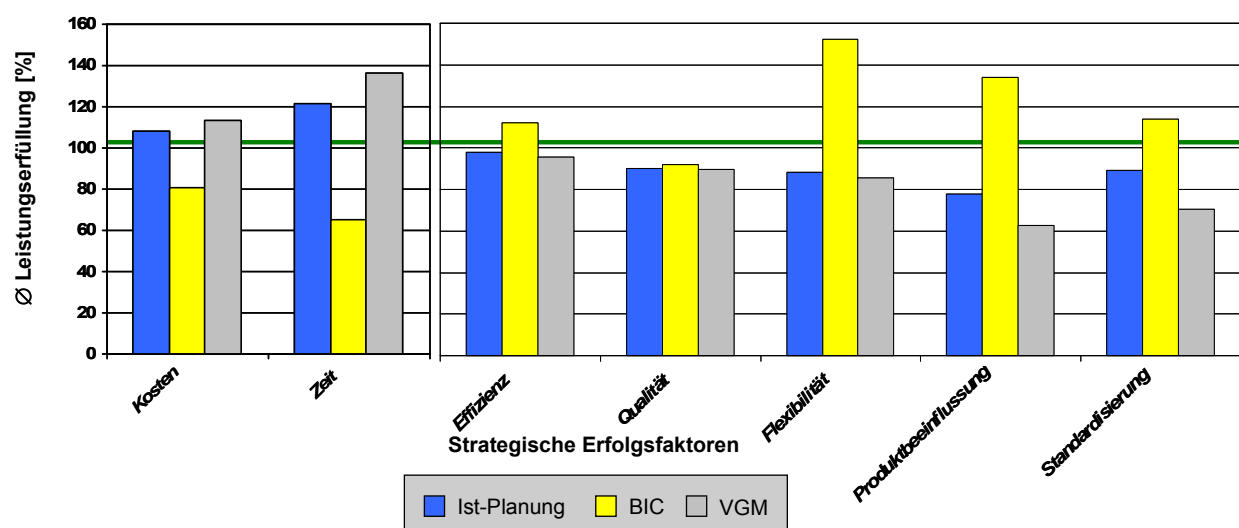


Abbildung 50: Managementbericht bei -34 Monaten vor SOP

Die blauen Balken zeigen, dass zu diesem Projektstand noch keines der vorgegebenen Ziele erreicht war. Die restliche Planungsphase bis zur Erstellung der Lastenhefte der Karosseriebaulinie sollte dazu genutzt werden, die Sollwerte zu erreichen. Besonders auffällig ist jedoch, dass die vorgegebenen Ziele massiv von



den best-in-class-Werten (gelbe Balken) abweichen. Der Kostennachteil, den man bewusst eingeht (gelber Kosten – Balken unter grüner Ziellinie) rechtfertigt sich aus der Positionierung der Produkte des Fallbeispielunternehmens im Premiumsegment. Diese aufwändigeren Produkte zeigen sich auch daran, dass die Ziele bei der Produktbeeinflussung (z.B. Menge der Schweißpunkte pro Karosse) unter dem BIC liegen (der gelbe Balken ist über der grünen Ziellinie). Dass die Flexibilitätsvorgaben für die Karosseriebaulinie deutlich unter den Branchen – Besten liegen, ist jedoch nicht strategiekonform.

Die Ausplanung einer vergleichbaren Linie, die sich nur bezüglich der Variantenflexibilität unterscheidet, stellt Abbildung 51 dar. Die Veränderungen gegenüber der Absprungbasis sind als Pfeile in den jeweiligen Säulen dargestellt. Es zeigt sich, dass das Ziel die Flexibilität gegenüber dem Wettbewerb zu verbessern zu einer Annäherung von Zielwert und BIC – Wert geführt hat, die Flexibilität der Linie liegt nun auf Wettbewerbsniveau. Allerdings haben sich dadurch deutliche Verschlechterungen in den SEF Kosten, Zeit, Effizienz und Qualität ergeben.

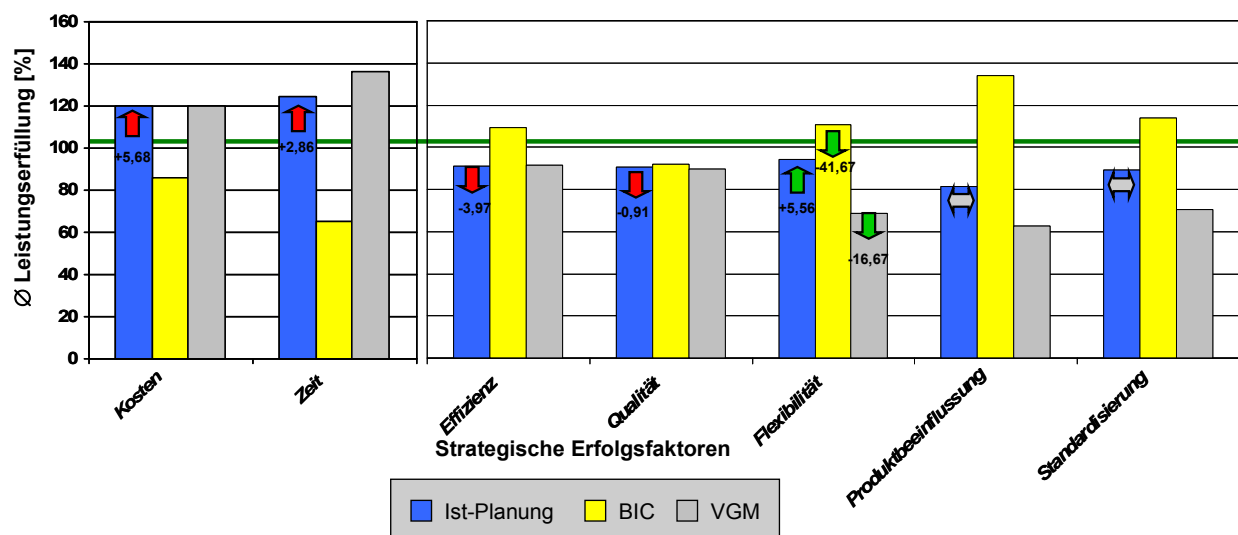


Abbildung 51: Managementbericht bei -32 Monate vor SOP: Verbesserung der Flexibilität

In vielen Bereichen einer flexiblen Karosseriebaulinie werden Ressourcen von allen Derivaten gleichermaßen verwendet. In den geometriespezifischen Anlagen sind jedoch aufgrund der unterschiedlichen Formen der Derivate spezifische Vorrichtungen erforderlich. Diese vorzuhalten bedeutet zunächst eine Erhöhung der Investitionen, was sich negativ auf die Kosten einer Linie auswirkt. Um die unterschiedlichen Fahrzeugtypen in der Linie zu steuern, werden zusätzliche Pufferplätze vorgesehen, die sich wiederum negativ auf die Durchlaufzeit der Linie auswirken. Die singuläre Nutzung einiger Anlagenbereiche durch einzelne Derivate verschlechtert die durchschnittliche Auslastung der Ressourcen und somit die Effizienz. Außerdem verschlechtert die Einbringung zusätzlicher verketteter Komponenten grundsätzlich die Gesamtverfügbarkeit der Linie und somit die

Prozessqualität. Die übrigen SEF Produktbeeinflussung und Standardisierung wurden durch die alternative Planung nicht beeinflusst.

Trotz dieser Rückschläge wird die flexible Variante als Vorzugsvariante zur weiteren Ausplanung freigegeben, da diese in Summe eine bessere Strategiekonformität aufweist als die erste Variante.

Der weitere Verlauf des Projekts wird mit dem Simulator abgebildet und zusammenfassend als Kostenverlauf in Abbildung 52 dargestellt. Darin ist zunächst der eben beschriebene Übergang auf eine flexiblere Linie als Kostensprung zu -32 Monate vor SOP sichtbar. Der Verlauf der grünen Kurven zeigt die dynamische Zielwertentwicklung. Zunächst erfolgt zu -31 eine Verschärfung des Kostentargets, die auf eine Kürzung der zur Verfügung stehenden Investitionen zurückzuführen ist. Im weiteren Verlauf erhöht sich der Sollwert der Kosten wieder, in dem Maße in dem Änderungen des Produkts welche eine Änderung des Prozesses erfordern, genehmigt werden. Die Verschärfung des Kostentargets führt im Projekt zunächst zu einer massiven Überschreitung durch den Istwert.

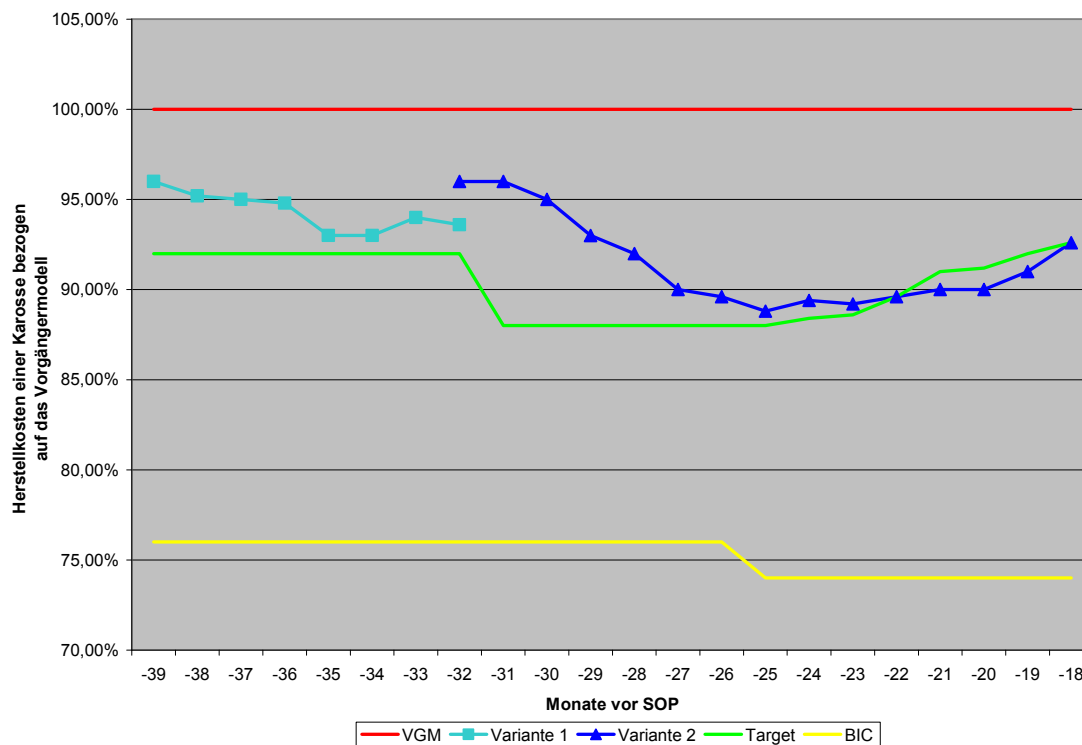


Abbildung 52: Kostenverlauf des Beispiels – Projekts in der Grobplanungsphase

Aus Sicht der Projektsteuerung lassen sich die dafür verantwortlichen Schwächen des Planungsstandes nur grob anhand der SEF abschätzen (beispielsweise zeigt Abbildung 51 Potentiale bei der Verbesserung der Effizienz auf). Um eine detaillierte Analyse und Diagnose der Schwachstellen durchführen zu können, ist der Projektbericht für den Planer konfiguriert worden. Die Methode der Schwachstellenanalyse mit dem LMS wird im folgenden Kapitel erläutert.

### 3.2.2 Schwachstellenanalyse

Der Schwerpunkt der Schwachstellenanalyse liegt in der Optimierung der ausgewählten Vorzugsvariante. Dabei ist das Ziel eine möglichst leistungsstarke Karosseriebaulinie zu planen, die dann im Lastenheft festgehalten und zur Vergabe des Umsetzungsauftrags in die Vergabe geht. Das LMS unterstützt den Planer bei der Optimierung dieser Planungsvariante indem es Hinweise auf Schwachstellen und deren Ursachen gibt. Dies wird im Folgenden an einigen Beispielen veranschaulicht. Die Praxisbeispiele wurden mit dem EDV – Prototypen berechnet und stellen somit auch eine Verifizierung des Berichtsystems und der Praxistauglichkeit des LMS dar.

Im Laufe dieser Arbeit ist bereits mehrfach auf die hohe Bedeutung einer gleichmäßig hohen Auslastung des Fertigungspersonals hingewiesen worden. Auch im hochautomatisierten Karosseriebau stellen die Personalkosten den höchsten Anteil an den Herstellkosten dar (vgl. Abbildung 4). Abbildung 53 zeigt in der oberen Tabelle einen Auszug aus dem Leistungsbericht für den Planer am Beispiel der Referenzanlage *Boden Hinten*. In der Spalte „Alt“ kann für die zu hohen Kosten der Schweißgruppe die Auslastung der Werker als eine Ursache ausgemacht werden. Im dazugehörigen Layout „Layout alt“ ist die Anordnung der Arbeitsplätze dieser Werker und ihre Auslastung dargestellt. Es fällt auf, dass die Arbeitsplätze räumlich weit voneinander entfernt angeordnet sind, so dass zur Verbesserung der Auslastung einem Werker kaum Aufgaben eines benachbarten Arbeitsplatzes übertragen werden können.

Meßgröße/Kennzahl	Einheit	Alt	Neu	Delta
Herstellkosten (Ebene 2)	€/Fzg.	39,99	37,96	2,03
Herstellkosten (SK2)	€/Fzg.	4,00	2,98	1,02
Herstellkosten (SK6)	€/Fzg.	3,97	2,96	1,02
Variable Kosten				
Kosten für Personal (Ebene 2)	€/Fzg.	14,14	12,11	2,03
Kosten für Personal (SK2)	€/Fzg.	2,17	1,15	1,02
Kosten für Personal (SK6)	€/Fzg.	2,17	1,15	1,02
Anteil sonstiger Kosten (Ebene 2)	%	17,65	18,59	0,94
Anteil sonstiger Kosten (SK2)	%	13,01	17,44	4,43
Anteil sonstiger Kosten (SK6)	%	12,97	17,43	4,46
Effizienz				
Produktionskoeffizient Personal	min/SGR	16,84	14,72	-2,13
Ø Auslastung der Werker (Ebene 2)	%	68,90	90,84	21,94
Ø Auslastung der Werker (SK1)	%	65,78	88,27	22,49
Ø Auslastung der Werker (SK2+SK6))	%	64,34	98,70	34,36
Ø Auslastung der Werker (SK5)	%	70,69	93,18	22,49
Ø Auslastung der Werker (SK9)	%	69,31	95,11	25,80
Ø Auslastung der Werker (SK11)	%	78,95	78,95	0,00

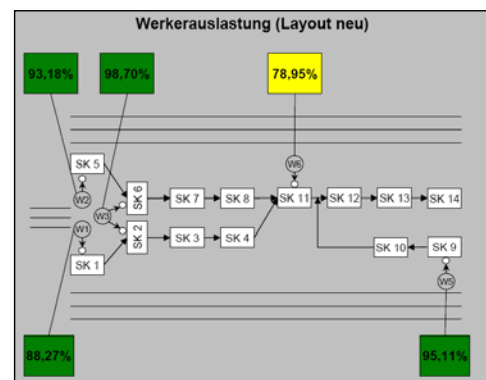
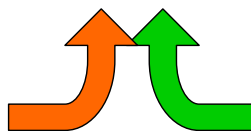
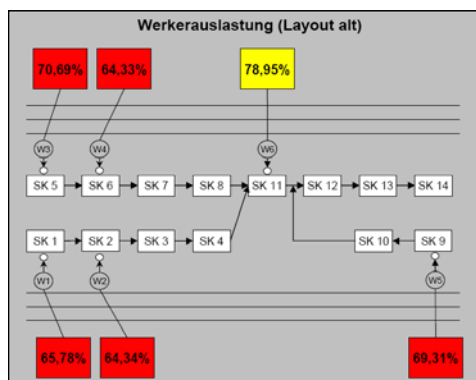
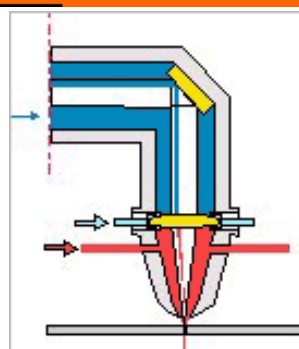


Abbildung 53: Schwachstellenanalyse am Beispiel der Werkerauslastung im Untersuchungsbereich

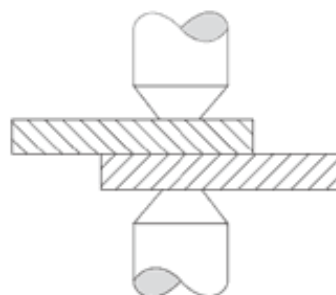
Die rechte Layoutvariante „Layout neu“ stellt die Auslastung der Werker an dem verbesserten Layout der gleichen Anlage dar. Anstatt der ursprünglich benötigten sechs Werker kann der gleiche Arbeitsumfang nun von fünf Mitarbeitern erledigt werden. Die Auslastung wird erhöht, die Personalkosten pro Schweißgruppe reduziert. In diesem Beispiel zeigt das LMS, dass mit der Überarbeitung des Layouts der Personalbedarf für die Anlage von 16,84 auf 14,72 Minuten/Karosserie reduziert werden konnte, was zu einer Kosteneinsparung von circa 2€/Karosserie führt. Neben den hier beschriebenen Ergebnissen ergeben sich entsprechend der rechentechnischen Verknüpfungen innerhalb des LMS neue Kennzahlen. Die Tabelle in Abbildung 53 stellt die Veränderungen der betroffenen Kennzahlen innerhalb der Leistungsebenen und übergreifend entlang der Prozesskette dar. Das Beispiel zeigt, dass das EDV – Tool eine Analyse der Ursachen unzureichender Prozessleistung ermöglicht und dabei eine Bewertung von Maßnahmen zur Schwachstellenbeseitigung erleichtert.

Werden innerhalb eines Schutzkreises mehrere unterschiedliche Fertigungsverfahren eingesetzt, führt dies oft zu einer schlechten Auslastung der Ressourcen. Ein Grund dafür ist beispielsweise die vorgegebene Reihenfolge der Verbindungen (z.B. erst Kleber auftragen und dann Punktschweißen), die zwangsweise zu einer schlechten Auslastung der Füge – Komponenten führt. Auch die Prozessfähigkeit stellt ein wichtiges Kriterium bei der Wahl der Verbindungstechnik dar. Insbesondere bei der starren Verkettung von Karosseriebauanlagen kann die schlechte Verfügbarkeit einer Komponente bereits erheblichen Einfluss auf die Ausbringung der gesamten Linie haben. In nachfolgendem Beispiel stellt das LMS den Einsatz der Verbindungstechnik *Laserschweißen* als Ursache für die Verfehlung dieser beiden Kriterien dar. Abbildung 54 zeigt den Vergleich des Prozesscockpits für einen Schutzkreis (Schutzkreis 12).

Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Einheit	SK12	SK12
Kosten	Kosten reduzieren				
	Herstellkosten reduzieren	Herstellkosten	€/Fzg.	3,51	2,59
	Fixe Kosten reduzieren				
	Anlagen-Invest reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	€/Fzg.	1,83	1,78
	Invest Roboter	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	%	28	33
	Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	%	33	15
	Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest	%	32	38
	Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	€/Fzg.	0,05	0,05
	Variable Kosten reduzieren				
	Personalkosten reduzieren	Kosten für Personal	€/Fzg.	0,23	0,23
Zeit	sonstige Kosten reduzieren	Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten	%	33,90	18,45
	DLZ reduzieren				
	DLZ gesamt reduzieren	DLZ gesamt	s/Einheit	1000	1200
Effizienz	Wertschöpfungsanteil erhöhen	DLZ- Effizienz	%	13,90	35,42
	Effizienz steigern				
	Komponentenauslastung erhöhen	Ø Auslastung der Roboter WSP	%	54,00	84,60
Qualität	Komponentenauslastung erhöhen	Ø Auslastung der Einleger	%		
	Produktqualität erhöhen				
	Prozessqualität erhöhen				
Flexibilität	GAE erhöhen	Technische Verfügbarkeit der SK	%	93,74	98,06
	GAE erhöhen	GAE			
	Flexibilität erhöhen				
Produktbeeinflus	Produktbeeinflussung stärken				
	Verbindungstechnik reduzieren	# normierter Verbindungsäquivalente	#/SK	156	156
	Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	#/SK	3	2
	Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik	Anteil "fähiger" Fügetechnologien	%	66,67	100
	Standardisierung: Prozessstandards				



**Laserschweißen**



**Punktschweißen**

Abbildung 54: Schwachstellenanalyse am Beispiel des Technologieeinsatzes

In der ersten Variante wird in dem Schutzkreis Laserschweißen eingesetzt. Da *Punktschweißen* und *Kleben* bereits in dem Schutzkreis vorkommt, erhöht sich der Technologiemix auf 3 und liegt somit außerhalb des Zielwerts. Die großen Probleme des Laserschweißens in der Großserie führen außerdem dazu, dass ein unbeherrschter Prozess in den Schutzkreis eingebracht wird. Dies geht auf Kosten der Prozesssicherheit. Um diese Schwachstellen zu beheben, wird der Ersatz des Laserschweißens durch Punktschweißen untersucht<sup>16</sup>.

Bei dem Ersatz des Laserstrahlschweißens sollen die Produkteigenschaften (Steifigkeit und Festigkeit der Karosse) unverändert bleiben. Dazu muss für je 25 mm Laserschweißnaht ein Schweißpunkt gesetzt werden. In dem vorliegenden Beispiel müssen 3000 mm Naht durch 120 Schweißpunkte ersetzt werden. Die hohe

<sup>16</sup> In diesem Fall ist der Austausch der Verbindungstechnik möglich, da das Produkt eine beidseitige Zugänglichkeit der Schweißflansche aufweist.

Prozessgeschwindigkeit ermöglicht das Setzen dieser Nahtlänge in einer Station. Die hohe Anzahl Punkte ist jedoch bei der vorgegebenen Taktzeit von 100 Sekunden nicht in einer Station zu realisieren. Es werden zwei zusätzliche Roboter eingebracht, die mit den beiden bereits vorhandenen und umgerüsteten Robotern die Schweißpunkte setzen. Nachdem diese Daten in das EDV – Tool eingepflegt sind, erfolgt die Leistungsmessung wie in Abbildung 54 dargestellt (rechte Spalte). Zunächst bestätigt das LMS die Vorgehensweise in Bezug auf eine Verbesserung der Prozesssicherheit. Auffällig ist, dass trotz der Einbringung weiterer Roboter, die Investitionen bei beiden Fügeverfahren vergleichbar sind. Der Einsatz des Punktschweißens hat jedoch einen wesentlich geringeren Bedarf an *sonstigen Kosten* da die hohen Aufwendungen für die Instandhaltung des Laserschweißens entfallen. So stellt in Summe die Punktschweißvariante mit einer Reduzierung der Herstellkosten für den betrachteten Schutzkreis von 25%, die günstigere Lösung dar. Gegenläufig stellt sich hingegen die Entwicklung der Durchlaufzeit dar. Die Einbringung neuer Roboter bewirkt eine Erhöhung der Durchlaufzeit, und somit eine Verschlechterung des SEF *Zeit* für die günstigere Variante.

Bei dem Kennzahlenvergleich unterschiedlicher Derivate eines Karosserietyps, zeigt das LMS weitere Schwachstellen auf. Im Gegensatz zur notwendigen Produktflexibilität (vgl. Kapitel 2.2.5) stellt der Variantenreichtum eines Produkts in der Regel keine „sichtbaren“ Unterscheidungen für den Kunden dar. Karosserievarianten entstehen vielmehr durch technische Zwänge bei der Spezifizierung eines Produkts für unterschiedliche Märkte (beispielsweise USA), Ausstattungs- (zum Beispiel umklappbare / starre Rücksitzbank) und Antriebsvarianten (zum Beispiel Vierradantrieb). Dieser Variantenreichtum wirkt sich in mehreren Kennzahlen nachteilig auf die Leistung einer Anlage aus. Abbildung 55 zeigt die durchschnittliche Auslastung der Roboter für die Schutzkreise der Referenzanlage *Boden Hinten* bei der Herstellung der Derivate *Frontantrieb* und *Vierradantrieb*. Es zeigt sich, dass abhängig vom Derivat die Roboter sehr unterschiedlich beansprucht werden. Da die Schutzkreise auf das aufwändigste (in Bezug auf Arbeitsinhalte) Derivat ausgelegt werden müssen, ist bei den weniger aufwändigeren Derivaten ein massiver Einbruch des SEF *Effizienz* zu verzeichnen. Da gerade diese „einfacheren“ Derivate den größten Anteil der Stückzahl ausmachen, wird bei der Mehrheit der Karossen ein bedeutender Kostennachteil (wegen schlechter Komponentenauslastung) verbucht.

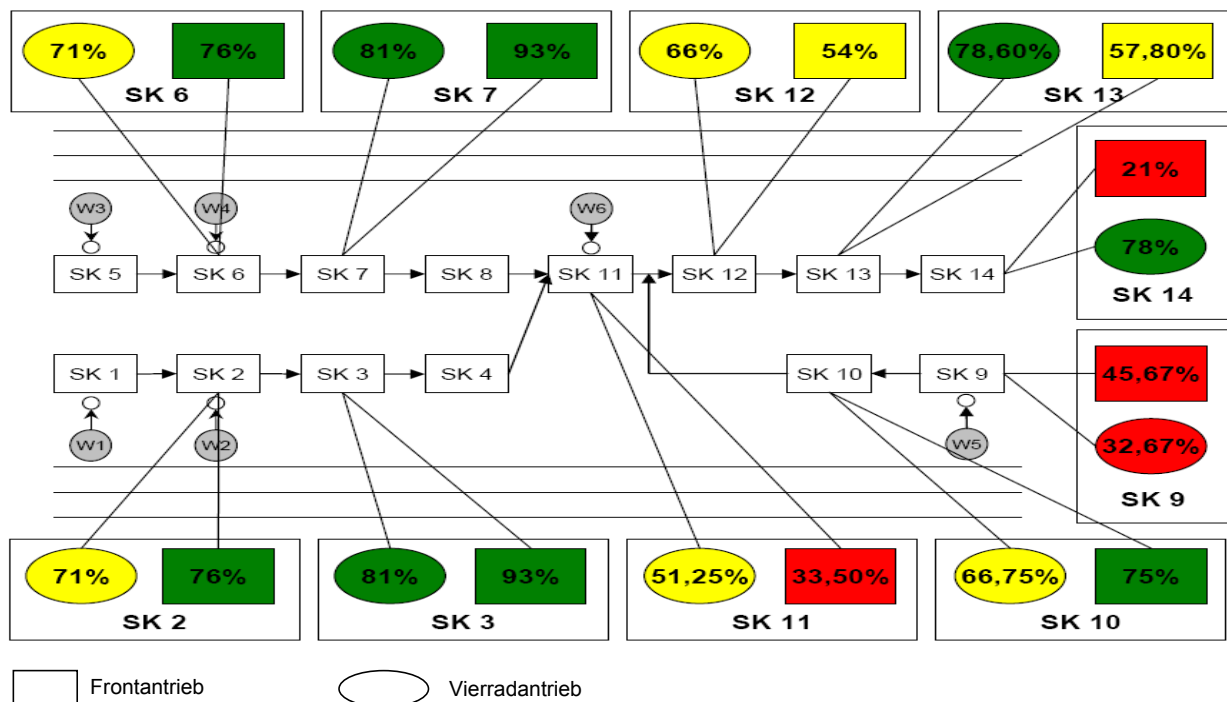


Abbildung 55: Darstellung der Ressourcenauslastung der Schutzkreise bei verschiedenen Derivaten

Die Analyse dieses Beispiels im EDV – Tool ermöglicht darüber hinaus eine Abschätzung des Potentials, das eine Vereinheitlichung der Varianten birgt. Bei Vereinheitlichung der Varianten mit entsprechender Prozessadaption, ist eine Einsparung bei den Herstellkosten von 1,04 € pro Karosserie möglich.

Ein weiterer Nachteil der variantenreichen Serienproduktion ist die Erhöhung der Durchlaufzeit des Kundenauftrags. Die Festlegung von Varianten im Karosseriebau, zieht auch die Zuordnung eines spezifischen Kundenauftrags zu einer Karosserie nach sich<sup>17</sup>. Werden keine Varianten im Karosseriebau unterschieden, ist eine Zuordnung des Fahrzeugs zu einem Kundenauftrag wesentlich später im Prozess möglich, beispielsweise erst bei der Farbwahl in der Lackiererei oder zu Beginn der Montage (vgl. KOVP von BMW [Piet02]). In dem vorliegenden Beispiel konnte durch die Vereinheitlichung der Varianten eine Verbesserung der DLZ – Effizienz um 5% und somit eine Verkürzung der DLZ um 9% für die untersuchte Anlage erreicht werden. Im Falle einer weiteren Reduzierung von Varianten im Karosseriebau könnte bestenfalls sogar eine Verlagerung der Taufe in einen nachfolgenden Fertigungsbereich möglich sein, was die *getaufte DLZ* um mindestens acht Stunden reduzieren würde (DLZ des Karosseriebaus im Fallbeispiel).

Die oben aufgeführten Beispiele haben die Methode der Schwachstellenanalyse mit dem LMS veranschaulicht und die Wirkungsweise der EDV – Implementierung des

<sup>17</sup> Die Zuordnung des Kundenauftrags zum werkinternen Bauauftrag wird als „Taufe des Fahrzeugs“ bezeichnet. Je früher die Taufe im Prozess erfolgt, desto länger ist die Wartezeit des Kunden auf sein Fahrzeug. Im LMS wird diese Zeit mit der Kennzahl *getaufte Durchlaufzeit* beschrieben (vgl. Kapitel 2)

LMS dargestellt. Die erkannten Potentiale der Layoutumstellung und der Technologievereinheitlichung konnten an der tatsächlichen Anlage umgesetzt werden und die berechneten Einsparungen erzielt werden. Die Reduzierung der Varianten ist ein Ziel des SEF *Produktbeeinflussung*. Die Beeinflussung dieser Kennzahlen ist in dem Zeitraum -39 bis -27 Monate vor SOP möglich (vgl. Abbildung 43). Da die vorliegende Untersuchung an der bestehenden Anlage gemacht wurde, konnte dieses Potential nicht mehr umgesetzt werden.

Neben den beschriebenen Potentialen konnten mit der Diagnosefunktion des LMS noch weitere Potentiale aufgedeckt werden. Abbildung 56 zeigt eine Übersicht der erkannten Schwachstellen und ordnet diesen jeweils die simulierte Einsparung und einen Zeithorizont für die Umsetzung der Einsparung zu.

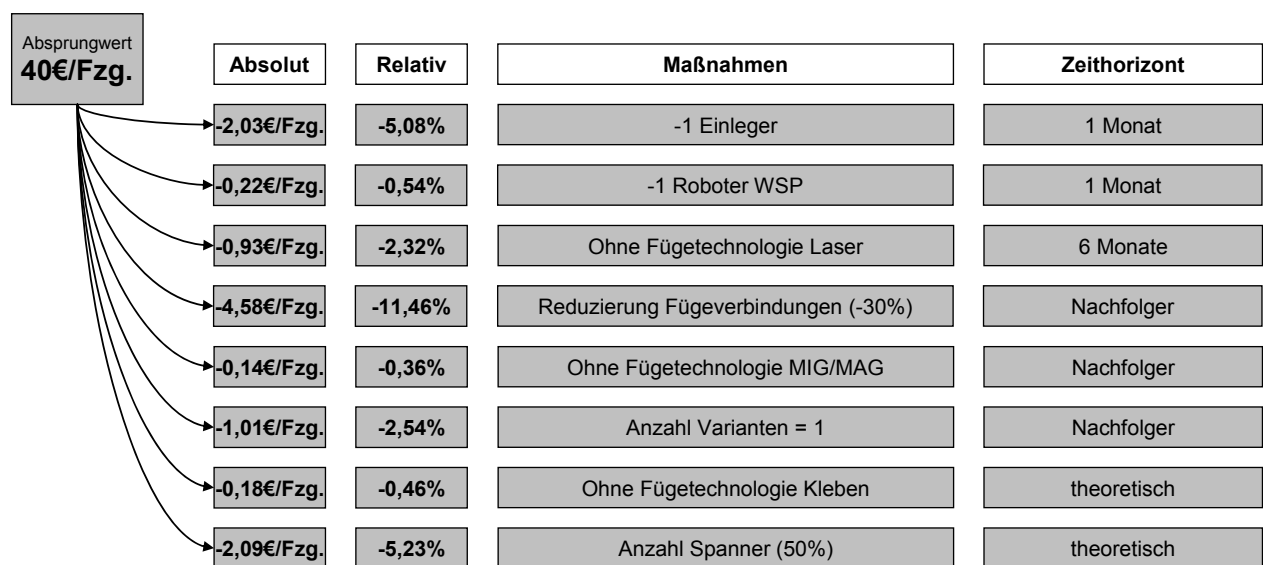


Abbildung 56: Übersicht der vom LMS aufgezeigten Schwachstellen

Die letzten beiden Potentiale stellen Einsparungen dar, die mit einem fertigungsgerechten Produkt erzielt werden könnten. Die Vergleichswerte dazu liefern dabei die Verbindungs- und Vorrichtungstechnik eines Mitbewerbers, die in einem Benchmark ermittelt wurden. Die Einsparungen werden als theoretisch betrachtet, da deren Umsetzung zwar eine Verbesserung der Kosten mit sich bringt, sich aber negativ auf den SEF Qualität auswirkt. Dies wird als nicht strategiekonform in dem Fallbeispielunternehmen gewertet und daher nicht umgesetzt.

Mit dem programmierten EDV – Prototypen wurde in Kapitel 3 die Wirkungsweise des LMS und die Methode der Leistungsmessung aufgezeigt. So wurde der Nachweis der inhaltlichen Einsetzbarkeit des LMS in der Grobplanungsphase von Karosseriebauprojekten erbracht. Insbesondere konnte gezeigt werden, dass erstellte Planungsvarianten schnell bewertet und unmittelbar analysiert werden können. Planer können mit Hilfe des LMS die Wirkungsweise von Verbesserungen überprüfen und so frühzeitig die Leistung der von ihnen entworfenen Prozesskette



verbessern. In der interdisziplinären Zusammenarbeit trägt das LMS zu kurzen Regelkreisen bei, da es beispielsweise im Rahmen einer gezielten Produktbeeinflussung die Auswirkung konstruktiver Mängel veranschaulicht und quantifizierbar macht.

## 4 Zusammenfassung und Fortführungsempfehlung

Die hohe Komplexität hochautomatisierter Produktionssysteme erfordert eine vielschichtige und umfangreiche Planung. In Verbindung mit dem wachsenden Druck auf die Markteinführung neuer Produkte (time to market) führt dies zum Bedarf einer schnellen und zuverlässigen Bewertungsmethode. Außerdem erfordert der hohe Kostendruck an internationalen Märkten die Erschließung weiterer Potentiale auf der Kostenseite, die durch eine Verbesserung der Produktionsprozesse erschlossen werden.

In der vorliegenden Arbeit wird mit der Entwicklung eines Systems und einer Methode zur projektbegleitenden Leistungsmessung von Karosseriebauanlagen ein Beitrag zur objektiven Evaluierung von Planungsalternativen und zur Schwachstellenanalyse an der Vorzugsvariante geleistet.

Zunächst wird der Untersuchungsbereich in einem Prozessmodell abstrahiert dargestellt. So werden die Vorgänge im Karosseriebau vereinfacht, systematisiert und so für die Untersuchungen zugänglich gemacht. Leistungsdefizite der Prozesse werden als Abweichungen der Sollwerte der jeweiligen Prozessbausteine (Prozesselemente) erfasst und können so identifiziert werden. Zur Bewertung dieser Potentiale wird der Verbrauch an Ressourcen eines Prozesselements zu den Produkten in Beziehung gesetzt und so in eine monetäre Größe umgerechnet (Prozesskostenrechnung). Dies ermöglicht außerdem die Quantifizierung strategischer Leistungsgrößen wie Flexibilität, Standardisierung und Produktbeeinflussung und schafft so die Entscheidungsgrundlage bei der Auswahl alternativer Lösungen.

Die Erweiterung der klassischen Zielgrößen der Produktion (Kosten, Zeit, Qualität) um die oben genannten langfristigen Potentiale, erfordert die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den Zielgrößen untereinander und innerhalb der Leistungsebenen des Produktionssystems. Die Ergebnisse dieser Analyse werden in Form eines Kennzahlensystems dargestellt. Die Strukturierung des KZS lehnt sich hierarchisch an die Ebenen des Prozessmodells an und folgt thematisch den Perspektiven einer *Balanced Scorecard*. Dieser systematische Aufbau ermöglicht zum einen die Betrachtungstiefe an die Erfordernisse des jeweiligen Anwenders anzupassen und zum anderen eine Einbettung in die strategischen Kennzahlensysteme des Unternehmens (Operationalisierung der Strategie).

Die Nutzung des Kennzahlensystems für die Prozessleistungsmessung und -steuerung im Tagesgeschäft erfordert die Entwicklung einer geeigneten Methodik. Auf Basis der Abhängigkeiten zwischen den Kennzahlen und der, im Prozessmodell verankerten, Zielhierarchien wird ein Algorithmus erstellt, der eine durchgängige Leistungsmessung des Karosseriebauprojekts ermöglicht. Dabei werden die Erkenntnisse aus internen Vergleichen und externem Benchmarking berücksichtigt, was eine dynamische Anpassung der Leistungsvorgaben über den Projektverlauf ermöglicht.

Um die Informationen, die das LMS über den Projektverlauf zur Verfügung stellt, bei der Bewertung und Analyse von Planungsergebnissen zielgerichtet nutzen zu können, wurde ein Monitorsystem entworfen. Dieses Berichtssystem stellt in Abhängigkeit des Adressaten in strukturierter Form die erforderlichen Kennzahlen und deren Ursache – Wirkungsbeziehungen dar. Neben der Darstellung der Leistungsentwicklung des Projekts wird in einem komprimierten Management – Bericht der Stand der eigenen Leistung im Vergleich zum Wettbewerb (best-in-class) und zu Parallelprojekten im eigenen Haus aufgezeigt. Eventuell erforderliche Zielwertanpassungen werden so sichtbar gemacht. Zur Diagnose von Schwachstellen bei der Leistung einzelner Prozesselemente oder ganzer Anlagenbereiche wird dem Fertigungsplaner ein Ampelcockpit bereitgestellt, das in Abhängigkeit des Projektfortschritts, Abweichungen vom Sollwert auf der untersten hierarchischen Ebene des Karosseriebaus darstellt und mögliche Ursachen aufzeigt.

Die Realisierung der Leistungsmessung zeigt in der planerischen Praxis einen enormen Aufwand für die Erhebung und Verarbeitung der Daten. Durch die Integration des LMS in den *Virtuellen Karosseriebau* kann die Lücke zwischen virtueller Planung und manueller Berichterstattung und Variantenbewertung geschlossen werden. Die vorliegende Arbeit stellt die zur Implementierung des LMS in die EDV – gestützten Planungstools, erforderlichen Berechnungsformeln und Datensätze zur Verfügung. Diese wurden in einem EDV – Prototyp programmiert und anhand eines Beispiels aus der Automobilindustrie erprobt. Die Funktionsfähigkeit des LMS und der erarbeiteten Methodik konnten somit veranschaulicht und nachgewiesen werden. Die Ergebnisse dieses Probelaufs lassen darauf schließen, dass die ausgewiesenen Potentiale in Bezug auf eine Verkürzung der Planungsphase und eine Verbesserung der Planungsergebnisse bei Einsatz des LMS im Planungsalltag erzielt werden können.

Es sind jedoch noch weitere Untersuchungen auf dem Weg zu einer durchgängigen, EDV – integrierten und projektbegleitenden Leistungsmessung von Produktionssystemen notwendig. In der vorliegenden Arbeit wurden die Kennzahlenverfügbarkeit und der Kennzahlenbedarf der Adressaten für den Zeitraum der Grobplanung untersucht. Das LMS ermöglicht aufgrund der offenen und objektorientierten Auslegung des Datenmodells eine Integration in weitere Bereiche des Unternehmens und Abschnitte des Projekts. Insbesondere für die Phasen der Feinplanung, Umsetzung und Fahrzeugfertigung ist die vollständige Umsetzung der LMS noch nicht erfolgt.

Derzeit stellen die Ermittlung, Strukturierung und Plausibilisierung der Sollwerte als Eingangsdaten für die Leistungsmessung noch eine sehr aufwändige, weitestgehend manuelle Tätigkeit dar. Dabei stellt der Vergleich mit externen Mitbewerbern eine große Fehlerquelle dar, da der Vergleich von Daten unterschiedlicher Struktur,

Herkunft und Detaillierung zu Fehlinterpretationen und zur Vorgabe falscher Zielwerte führen kann. Neben der projektbegleitenden Leistungsmessung im Unternehmen, stellt die standardisierte unternehmensübergreifende und rechnerintegrierte Leistungsmessung einen weiteren Forschungsschwerpunkt dar, der zur nachhaltigen Verbesserung der Leistung produzierender Unternehmen bearbeitet werden sollte.

Die vorliegende Arbeit leistet einen Beitrag zur Messung der Leistung von Produktionssystemen von der Planungsphase, über die Umsetzungsphase bis hin zum Anlagenbetrieb in der Produktionsphase und soll in diesem Gebiet weitere Forschungen anstoßen.

## 5 Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Verursachungsgerechte Kostenverrechnung auf Prozesselemente
- Anlage 2: Kostenübersicht Boden hinten auf PE-Ebene
- Anlage 3: Arten von KZS
- Anlage 4: Leistungsmesskonzepte
- Anlage 5: Ursache-Wirkungs-Analyse der SEF mit der Vernetzungsmatrix
- Anlage 6: Kennzahlenübersicht (Beeinflussung und Berechnung)
- Anlage 7: Informationstransformation in den Phasen der Grobplanung
- Anlage 8: Kennzahlenbedarf und Kennzahlenverfügbarkeit in der Grobplanung
- Anlage 9: Berechnung der durchschnittlichen Leistungserfüllung der SEF
- Anlage 10: Kostenbibliothek und Kennzahlenberechnung im Simulator
- Anlage 11: Eingangsdaten eines PE zur Kennzahlenberechnung im Simulator

# Anlage 1: Verursachungsgerechte Kostenverrechnung auf Schutzkreise

	Ressource	Ressourcen-kostentreiber	Schutzkreis	Prozess-kostentreiber	Fahrzeug
Abschreibung			Anlagen-Investition des SK	Anzahl Fahrzeuge	Abschreibung pro SK und Fzg.
	übergeordnete Anlagen-Investition der Hauptschweißgruppe	Anteil der übergeordneten Anlagen-Investition des SK an der Anlagen-Investition aller SK	Anteil der übergeordneten Anlagen-Investition der Hauptschweißgruppe pro SK		
Kalkulatorischer Zins			kalk. Anteil der gesamten Anlagen-Investition des SK	Anzahl Fahrzeuge	kalk. Zinsanteil pro SK und Fzg.
Fläche	Aufwand für Produktionsfläche	Größe der genutzten Fläche	Kosten für Flächennutzung pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Flächenkosten pro SK und Fzg.
direkte Personalkosten	Variante 1				
	Personalaufwand (Fügen + Einlegen)	Zeitanteil des genutzten Personals	direkte Personalkosten pro SK	Anzahl Fahrzeuge	direkte Personalkosten pro SK und Fzg.
	Variante 2 <sup>1)</sup>				
	Personalaufwand (Fügen + Einlegen)				direkte Personalkosten pro SK und Fzg.
indirekte Personalkosten	Personalaufwand (Anlage führen)	Anteil der Anlagen-Investition des SK an der Anlagen-Investition aller SK	indirekte Personalkosten pro SK	Anzahl Fahrzeuge	indirekte Personalkosten pro SK und Fzg.
Energie, Medien und Verbrauchsmaterial	Betriebsmittel / Fügevorgang				
	Elektroenergie (Kühlung der Zangen, Schweißen, Leerlauf, Zangenantrieb, Zangenausgleich, Kappenfräser), Druckluft, Kühlwasser (Zangenkühlung)	Zeitanteil	Kosten für Widerstandspunktschweißen des SK	Anzahl Widerstandspunkte pro Fzg.	Kosten für Energie, Medien und Verbrauchsmaterial pro SK und Fzg.
	Elektroenergie (Kühlung beim Schweißen, Kühlung im Leerlauf, Schweißvorgang, Leerlauf), Druckluft, Technisches Gas	Zeitanteil	Kosten für Laser-Schweißen des SK	Länge Lasernaht pro Fzg.	
	Elektroenergie (MIG-Betrieb, Leerlauf), Technisches Gas, Zusatzdraht	Zeitanteil	Kosten für Metall-Inertgas-Schweißen des SK	Länge Schweißnaht pro Fzg.	
	Elektroenergie (Hydraulik, Heizung), Druckluft, Klebstoff	Zeitanteil	Kosten für Kleben des SK	Länge Klebnaht pro Fzg.	
Energie und Medien	Roboter				
			Kosten für Energieverbrauch der Roboter des SK	Anzahl Fahrzeuge	Energie- und Medienkosten pro SK und Fzg.
	Roboter-Greifer				
			Kosten für Druckluftverbrauch der Greifer	Anzahl Greifvorgänge	Energie- und Medienkosten pro

			des SK	pro Fzg.	SK und Fzg.
	<b>Ressource</b>	<b>Ressourcen- kostentreiber</b>	<b>Schutzbereich</b>	<b>Prozess- kostentreiber</b>	<b>Fahrzeug</b>
<b>Energie und Medien</b>	<b>Geometrie-Vorrichtungen</b>				
			Kosten für Druckluft- verbrauch der Geometrie-Vorrichtungen des SK	Anzahl Spannvorgänge pro Fzg.	Energie- und Medienkosten pro SK und Fzg.
	<b>Fördertechnik</b> <sup>2)</sup>				
			Kosten für Energie- verbrauch der Fördertechnik des SK	Zeitanteil	Energie- und Medienkosten pro SK und Fzg.
<b>Wartung und Instandhaltung</b>	<b>Betriebsmittel / Fügevorfahren</b>				
	Wartungs- und Instandhaltungs- aufwand (Personal + Material)	Anzahl Fügemitel	Wartungs- und Instandhaltungskosten pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Wartungs- und Instandhaltungs- kosten pro SK und Fzg.
	<b>Roboter-Greifer</b>				
	Wartungs- und Instandhaltungs- aufwand (Personal + Material)	Anzahl Roboter	Wartungs- und Instandhaltungskosten der Roboter-Greifer pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Wartungs- und Instandhaltungs- kosten pro SK und Fzg.
	<b>Geometrie-Vorrichtungen</b>				
	Wartungs- und Instandhaltungs- aufwand (Personal + Material)	Anzahl Geometrievorrichtungen der jeweiligen Klasse	Wartungs- und Instandhaltungskosten der Geometrie- Vorrichtungen pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Wartungs- und Instandhaltungs- kosten pro SK und Fzg.
	<b>Einlegefenster / Hubtore</b>				
	Wartungs- und Instandhaltungs- aufwand (Personal + Material)	Anzahl Einlegefenster / Hubtore	Wartungs- und Instandhaltungskosten der Einlegefenster / Hubtore pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Wartungs- und Instandhaltungs- kosten pro SK und Fzg.
	<b>Fördertechnik</b>				
	Wartungs- und Instandhaltungs- aufwand (Personal + Material)	Anzahl Fördertechnik der jeweiligen Art	Wartungs- und Instandhaltungskosten der Fördertechnik pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Wartungs- und Instandhaltungs- kosten pro SK und Fzg.
<b>Logistik</b>	Handling und Transportaufwand	Zeitanteil	Kosten für Logistikaufwand der Einlegeteile der jeweiligen Klasse	Anzahl Einlegeteile der jeweiligen Klasse pro Fzg.	Logistikkosten pro SK und Fzg.
<b>Qualität</b>	<b>Festigkeit</b>				
	Aufwand für Festigkeitsprüfung	Anzahl Verbindungs- äquivalente	Kosten für Festigkeits- prüfung pro SK	Anzahl Verbindungs- äquivalente pro Fzg.	Prüfkosten Festigkeit pro Fzg.
	<b>Maßhaltigkeit</b>				
	Aufwand für Maßhaltigkeitsprüfung	Anzahl Geometrie- Stationen der jeweiligen Klasse	Kosten für Maßhaltigkeitsprüfung pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Prüfkosten Maßhaltigkeit pro Fzg.
	<b>Oberflächengüte</b>				
	Aufwand für Prüfung der Oberflächengüte	Anteil der SK, die mit dem Fügen der "Außenhaut" der Fzg. in Verbindung stehen <sup>3)</sup>	Kosten für Prüfung der Oberflächengüte pro SK	Anzahl Fahrzeuge	Prüfkosten Oberflächengüte pro Fzg.

<sup>1)</sup> Fertigungszeit des Personals pro SK und Fzg. ab bestimmten Planungszeitpunkt gegeben

<sup>2)</sup> Daten für Energieverbrauch sind vorhanden, diese lagen jedoch bis Projektabschluss nicht vor

<sup>3)</sup> evtl. Gewichtung der SK anhand der Verbindungsäquivalente, da diese Anzahl abhängig von Bauteilgröße ist (Achtung: Oberflächenprobleme können jedoch auch schon vor dem Karosseriebau, z.B. durch Transport, verursacht worden sein)

## Anlage 2: Kostenübersicht Boden hinten auf PE-Ebene

### Kostenübersicht

Taktzeit: 100 sek.

		Basis	Prozess- element 1			Prozess- element 2			Prozess- element 3			Prozess- element 4			Prozess- element 5			Prozess- element 6			Prozess- element 7			Prozess- element 8			Prozess- element 9			Prozess- element 10			Prozess- element 11			Prozess- element 12			Prozess- element 13			Prozess- element 14			...	Prozess- element n			Gesamt (Boden hinten)		
			A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M	A	P	M										
Anlagen-Invest	Anschaffungskos- ten	EUR		1.254.596			979.120			718.277			418.608			1.214.706			965.966			695.439			405.299			2.634.286			1.042.268			1.282.466			1.418.918			731.840			379.275						14.141.065		
	kalk. Abschreibung	EUR/Fzg.		1,22867			0,95888			0,70343			0,40996			1,18960			0,94600			0,68107			0,39692			2,57984			1,02073			1,25596			1,38959			0,71671			0,37144					13.84880			
	kalk. Zinsen	EUR/Fzg.		0,38703			0,30205			0,22158			0,12914			0,37472			0,29799			0,21454			0,12503			0,81265			0,32153			0,39563			0,43772			0,22577			0,11700					4.36237			
Fläche	Kosten Fläche	EUR/Fzg.		0,04977			0,04525			0,00987			0,03455			0,05769			0,04298			0,00987			0,03846			0,07568			0,05440			0,05399			0,04936			0,04319			0,02879						0,59384		
Sonstiges	Instandhaltung/ Wartung	EUR/Fzg.		0,13529			0,11075			0,09919			0,03223			0,13529			0,11117			0,09919			0,03599			0,17267			0,13304			0,14657			0,91360			0,13651			0,05436					2,31585			
	Logistik	EUR/Fzg.		0,45330			0,16260			0,00000			0,00000			0,40860			0,16260			0,00000			0,00000			0,55870			0,00000			0,32360			0,00000			0,00000			0,00000					2,06940			
	Qualität (Maßhaltigkeit)	EUR/Fzg.		0,14983			0,06243			0,00000			0,00000			0,15489			0,05737			0,00000			0,00000			0,10613			0,00000			0,15477			0,00000			0,21668			0,00000					0,90208			
Energie, Medien und Verbrauchs- stoffe	Kosten Elektroenergie	EUR/Fzg.		0,10700			0,08329			0,03980			0,03614			0,10700			0,08402			0,03980			0,03614			0,12517			0,13846			0,13057			0,38942			0,16148			0,03608					1,51439			
	Kosten Medien (Druckluft)	EUR/Fzg.		0,00086			0,00054			0,00526			0,00007			0,00086			0,00061			0,00055			0,00007			0,00219			0,00066			0,00046			0,02857			0,00021			0,00010					0,04103			
	Kosten Medien (techn. Gase)	EUR/Fzg.		0,00000			0,00515			0,00000			0,00000			0,00000			0,00515			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,01104			0,00000			0,00000					0,02134			
	Kosten Medien (Kühlwasser)	EUR/Fzg.		0,00711			0,00569			0,00284			0,00142			0,00711			0,00569			0,00284			0,00142			0,00569			0,00426			0,00569			0,00142			0,00569			0,00142					0,05828			
	Kosten Verbrauchsmaterial	EUR/Fzg.		0,00000			0,03074			0,00000			0,00000			0,00000			0,03074			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,00000			0,05544			0,00000			0,00000					0,11691			
Fertigungszeit	Kosten F-Zeit (Einlegen + Prüfen)	EUR/Fzg.		2,03060			2,03060			0,00000			0,00000			2,03060			2,03060			0,00000			0,00000			2,03060			0,00000			2,03060			0,00000			0,00000			0,00000					12,18361			
	Kosten F-Zeit (Anlage führen)	EUR/Fzg.		0,14130			0,11027			0,08090			0,04715			0,13681			0,10879			0,07832			0,04565			0,29668			0,11738			0,14444			0,15980			0,08242			0,04272					1,59263			
	Kosten F-Zeit (TPM)	EUR/Fzg.		0,02689			0,02944			0,01437			0,01298			0,02689			0,02944			0,01437			0,01298			0,01901			0,04636			0,01854			0,07219			0,03709			0,00325					0,36381			
Gesamtkosten:		EUR/Fzg.		4,72			3,94			1,18			0,70			4,63			3,91			1,14			0,69			6,79			1,84			4,66			3,51			1,63			0,66					39,98			

V...Vorgabe

P...Planung

M...Messwerte



### Anlage 3: Arten von Kennzahlssystemen

Gliederungskriterium	Arten betriebswirtschaftlicher Kennzahlensysteme					
nach den Beziehungen zwischen den Kennzahlen	logisch		empirisch		hierarchisch	
	mathematisch	definitorisch	deterministisch	stochastisch	sachlich hierarchisch	subjektiv bewerten
nach der Ableitungsrichtung	Zerlegende Kennzahlensysteme (retrograde Kennzahlen-aufgliederung, top- down)			Zusammenfassende Kennzahlensyst. (progressive Kennzahlen-verknüpfung, bottom-up)		
nach dem Adressaten	Kennzahlensysteme zur externen Analyse			Kennzahlensysteme zur internen Analyse		
nach der Verwendungs-orientierung	Analyse- Kennzahlensysteme			Steuerungs- Kennzahlensysteme		
nach der Methode der Entwicklung	Deduktiv abgeleitete Kennzahlensysteme			Induktiv abgeleitete Kennzahlensysteme		
nach dem Zeitbezug	Ist- Kennzahlensysteme (Kontroll- Systeme)			Plan- Kennzahlensysteme (Planungs- Systeme)		
nach dem Bezug zur Unternehmenshierarchie	Gesamtunternehmens-bezogene Kennzahlensyst.		Bereichsbezogene Kennzahlensysteme		Stellenbezogene Kennzahlensysteme	
nach dem Funktionsbereich	Kennzahlensysteme für die					
	Beschaffung	Lagerwirtschaft	Produktion	Absatzwirtschaft	Personalwirtschaft	Finanzwirtschaft
nach der statistischen Form der Kennzahlen	Kennzahlensysteme aus					
	Verhältniszahlen		Fast ausschließlich absoluten Zahlen		Verhältniszahlen und absoluten Zahlen	
nach der Art des zu messenden Sachverhalts	Kennzahlensysteme zur Messung von					
	Strukturen			Prozessen		
nach der Nutzung						

## Anlage 4: Leistungsmesskonzepte

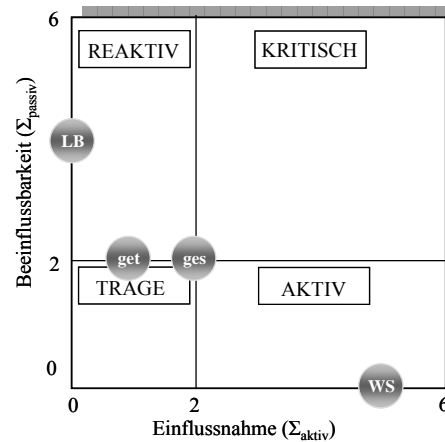
Konzept	Beschreibung	Anwendbarkeit
Performance Measurement in Service Business	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sechs Klassifikationskriterien (service- relevante Erfolgsfaktoren wie Qualität, Serviceleistung, Flexibilität)</li> <li>- Matrix mit Ergebnis- und Ergebnistreiberbereichen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- geeignet für serviceorientierte Dienstleistungsunternehmen</li> </ul>
Balanced Scorecard	<ul style="list-style-type: none"> <li>- „ausgewogener Berichtsbogen“</li> <li>- vier miteinander verkettete Perspektiven (Finanzwirtschaftliche, Kunden-, Interne Prozess- und Lern- und Entwicklungsperspektive)</li> <li>- Verknüpfung der Kennzahlen mit der Unternehmensstrategie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zur mehrdimensionalen, vorwiegend strategischen Planung und Steuerung eines Unternehmens oder Geschäftsbereichs</li> </ul>
Tableau de Bord	<ul style="list-style-type: none"> <li>- finanzielle und physikalische Kennzahlen</li> <li>- Zerlegung eines Oberziels in seine Bestandteile (Baumstruktur) anhand verschiedener Leistungsebenen</li> <li>- in der Praxis häufig kurzfristig ausgerichtete Umsetzung ohne Strategieberücksichtigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein Rahmenkonzept vorgeschlagen</li> <li>- kein Ursache- Wirkungs- Beziehungen zwischen den Kennzahlen einer Ebene</li> </ul>
Productivity Measurement and Enhancement System (ProMES)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zerlegung der Leistung in eine personelle und eine organisatorische Komponente</li> <li>- Integration und Transformation von Feedbackinformationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzept vor allem für die Dienstleistungspraxis</li> </ul>
Performance Measurement Model	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterstützung der Steuerung und kontinuierliche Verbesserung der organisatorischen Leistung</li> <li>- Verknüpfung mit organisatorischen Visionen, Zielen und Strategien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fokus auf Organisation</li> </ul>
Performance Pyramid	<ul style="list-style-type: none"> <li>- vertikale Aufteilung: verschiedene Leistungsebenen mit adäquaten Leistungskennzahlen</li> <li>- Kommunikation der Ergebnisvorgaben über alle Ebenen hinweg</li> <li>- horizontale Aufteilung: markt- sowie kapitalgeberbezogener Anteil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gestaltungsrahmen für das Design und den Einsatz eines Performance Measurements</li> </ul>
Quantum Performance Measurement Konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Matrix mit neun Bewertungsfeldern: Kombination dreier Leistungsebenen (Mitarbeiter, Prozesse und Organisation) mit drei Leistungsdimensionen (Qualität, Zeit und Kosten)</li> <li>- Identifizierung erfolgskritischer Schlüsselaktivitäten und Treiberkennzahlen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fokus auf Kosten-, Zeit- und Qualitätsziele</li> </ul>
Ernst & Young- Konzept	<ul style="list-style-type: none"> <li>- drei Leistungsebenen und 5 kritische Erfolgsfaktoren als Leistungsdimensionen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konzept für Lebensmittelbranche</li> </ul>
Business Management Window	<ul style="list-style-type: none"> <li>- monetäre Spitzenkennzahlen als Indikator für die finanzielle Leistungsfähigkeit</li> <li>- Einbeziehung strategischer Planungsaktivitäten sowie erfolgsrelevanter Überlegungen aller Stakeholder (Kapitalgeber, Mitarbeiter, Kunden, Zulieferer, Staat, Gesellschaft)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- kein Aufzeigen von Ursache- Wirkungs- Beziehungen</li> </ul>

## Anlage 5: Ursache-Wirkungs-Analyse der SEF mit der Vernetzungsmatrix

Einfluss von	auf	DLZ gesamt	DLZ getauft	WS- Anteil	LB	aktiv
DLZ gesamt		0	0	2	2	
DLZ getauft		0	0	1	1	
WS- Anteil		2	2	0	1	5
Lieferbereitschaft		0	0	0	4	0
passiv		2	2	0	4	8

Skala:  $(4-1) \cdot 2 = 6$

Aufteilung:  $8/4 = 2$

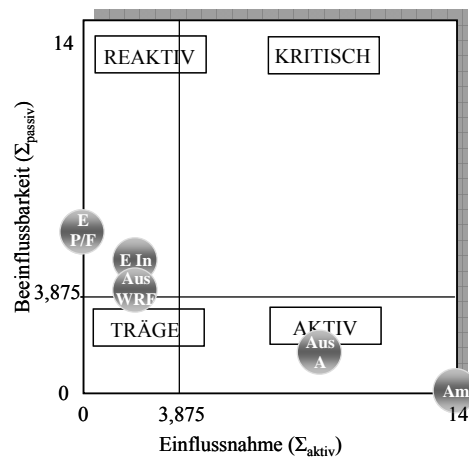


### SEF „Zeit“

Einfluss von	auf	Ausl. Anlage	Ausl. Werker	Ausl. Roboter	Ausl. Fläche	Ausbr.	Einsatz Invest	Einsatz Personal	Einsatz Fläche	aktiv
Auslastung Anlage		0	2	2	2	0	1	1	1	9
Auslastung Werker		0	0	0	0	0	0	2	0	2
Auslastung Roboter		0	0	0	0	0	2	0	0	2
Auslastung Fläche		0	0	0	0	0	0	0	2	2
Ausbringungsmenge		2	2	2	2	2	2	2	2	14
Einsatz Invest		0	0	0	0	0	0	1	1	2
Einsatz Personal		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Einsatz Fläche		0	0	0	0	0	0	0	0	0
passiv		2	4	4	4	0	5	6	6	31

Skala:  $(8-1) \cdot 2 = 14$

Aufteilung:  $31/8 = 3,875$

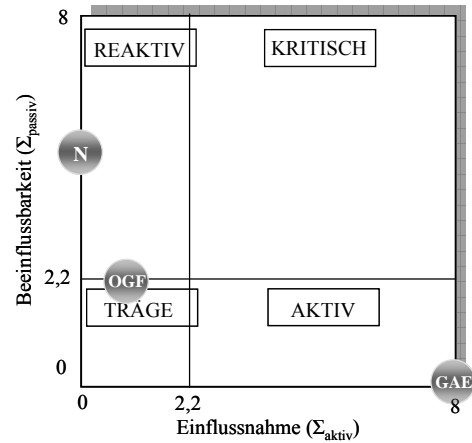


### SEF „Effizienz“

Einfluss von	auf	OF	Geo	Fest	GAE	Nacharbeit	aktiv
Oberfläche			0	0	0	1	1
Geometrie		0		0	0	1	1
Festigkeit		0	0		0	1	1
GAE		2	2	2		2	8
Nacharbeit		0	0	0	0		0
passiv		2	2	2	0	5	11

Skala:  $(5-1)*2=8$

Aufteilung:  $11/5=2,2$

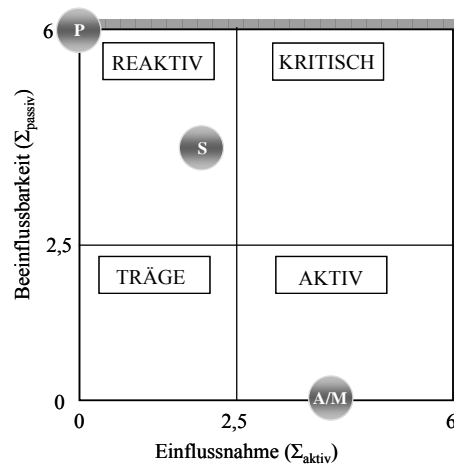


## SEF „Qualität“

Einfluss von	auf	Produkt	St.zahl	Anpass.	MA	aktiv
Produktflexibilität			0	0	0	0
Stückzahlflexibilität		2		0	0	2
Anpassungsflexibilität		2	2		0	4
MA- Flexibilität		2	2	0		4
passiv		6	4	0	0	10

Skala:  $(4-1)*2=6$

Aufteilung:  $10/4=2,5$

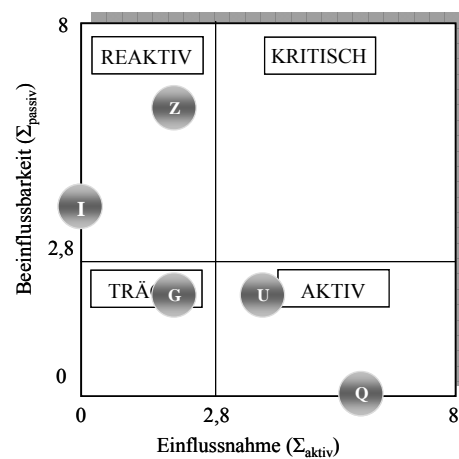


## SEF „Flexibilität“

Einfluss von	auf	Quali	Ideen	Zufr.	Gesund.	Unfallh.	aktiv
Qualifikation			2	2	0	2	6
Ideen		0		0	0	0	0
Zufriedenheit		0	2		0	0	2
Gesundheit		0	0	2		0	2
Unfallhäufigkeit		0	0	2	2		4
passiv		0	4	6	2	2	14

Skala:  $(5-1)*2=8$

Aufteilung:  $14/5=2,8$

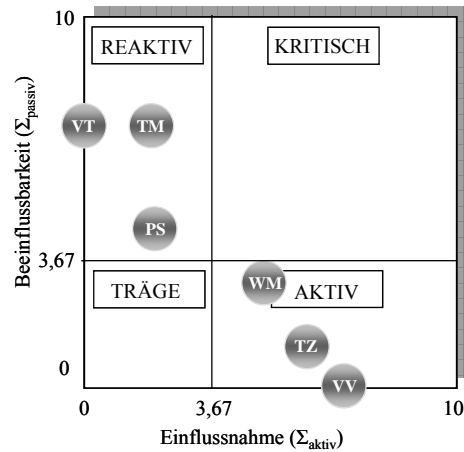


## SEF „Mitarbeiter“

Einfluss von	VT	TM	PS	VV	TA	WM	aktiv
Verbindungstechnik		0	0	0	0	0	0
Technologiemix	2		0	0	0	0	2
Prozesssicherheit	0	2		0	0	0	2
Variantenvielfalt	2	2	0		1	2	7
Teileanzahl	2	1	2	0		1	6
Werkstoffmix	1	2	2	0	0		5
passiv	7	7	4	0	1	3	22

Skala:  $(6-1)*2=10$

Aufteilung:  $22/6=3,67$

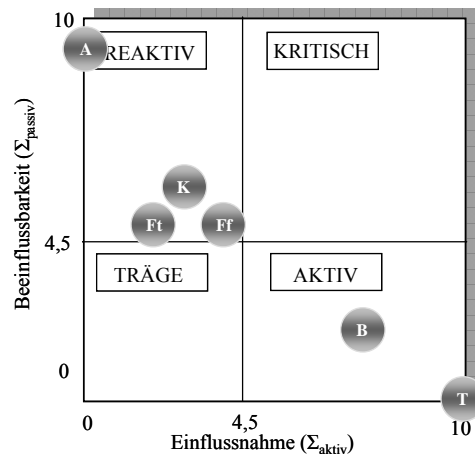


SEF „Produktbeeinflussung“

Einfluss von	FüTech	FüFolge	Teile	BG	Komp	Anlagen	aktiv
Fügetechnik		1	0	0	0	1	2
Fügefølge	0		0	0	2	2	4
Teile	2	2		2	2	2	10
Baugruppen	2	2	0		2	2	8
Komponenten	1	0	0	0		2	3
Anlagen	0	0	0	0	0		0
passiv	5	5	0	2	6	9	27

Skala:  $(6-1)*2=10$

Aufteilung:  $27/6=4,5$



SEF „Standardisierung“

# Anlage 6: Kennzahlenübersicht (Beeinflussung und Berechnung)

KENNZAHL	ZEICHEN	FORMEL	INTERPRETATION / BEMERKUNG
Herstellkosten	$HK$	$HK = K_{fix} + K_{var}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gesamte Kosten, die bei der Herstellung einer Karosserie anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> </ul>
Variable Kosten	$K_{var}$	$K_{var} = K_{Personal} + K_{sonst}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- variable Kosten, die bei der Herstellung einer Karosserie anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> </ul>
Fixe Kosten	$K_{fix}$	$K_{fix} = K_{AnlagenInvest} + K_{Fläche}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fixe Kosten, die bei der Herstellung einer Karosserie anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> </ul>
Kosten für Personal	$K_{Personal}$	$K_{Personal} = K_{EL} + K_{AF} + K_{TPM}$ Kosten für TPM: $K_{TPM}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für das Personal, die bei der Herstellung einer Karosserie anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> </ul>
Sonstige Kosten	$K_{Sonst}$	$K_{Sonst} = K_{WI} + K_Q + K_{EMV} + K_{LT}$ Kosten für Wartung und Instandhaltung: $K_{WI}$ Kosten für Qualität: $K_Q$ Kosten für Energie/Medien/Verbrauchsstoffe: $K_{EMV}$ Kosten für Logistik und Transport der Einlegeteile: $K_{LT}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonstige Kosten, die bei der Herstellung einer Karosserie anfallen, („Dienstleistungskosten“)</li> </ul>

Kosten für Anlagen-Invest	$K_{AnlagenInvest}$	$K_{AnlagenInvest} = Ab + Z_{kalk}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für Anlagen-Invest, die bei der Herstellung einer Karosse anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> <li>- Ermittlung der kalkulatorischen Zinsen für das durchschnittlich gebundene Kapital</li> </ul>
Kosten Fläche	$K_{Fläche}$	$K_{Fläche} = \frac{HNF_{SK} \cdot M_{kalk} \cdot 12 \cdot LZ_{MZ}}{\# Fzg_{MZ}}$ <p><i>Kalkulatorische Miete:</i> <math>M_{kalk}</math></p> <p><i>Hauptnutzfläche eines Schutzkreises:</i> <math>HNF_{SK}</math></p> <p><i>Modellzykluslaufzeit (7 Jahren):</i> <math>LZ_{MZ}</math></p> <p><i>Anzahl der in einem Modellzyklus hergestellten Fahrzeuge:</i> <math>\# Fzg_{MZ}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kosten für die Fläche, die bei der Herstellung einer Karosse anfallen</li> <li>- verursachungsgerechte Zurechnung der Gemeinkosten mittels Prozesskostenrechnung</li> <li>- Berechnungsbasis: Ebene 3;</li> <li>- Einheit für alle Ebenen: €/Fzg.</li> </ul>
Kosten für Einlegen	$K_{EL}$	$K_{EL} = \frac{\# AP_{EL} \cdot AZ_{Tag \& AP} \cdot d_{FabrÖff} \cdot Faktor_{AAS} \cdot StSatz_{Fert}}{\# Fzg_{MZ}}$ <p><i>Anzahl der Arbeitsplätze für Einlegen:</i> <math>\# AP_{EL}</math></p> <p><i>Bezahlte Arbeitszeit pro Tag und Arbeitsplatz:</i> <math>AZ_{Tag \&amp; AP}</math></p> <p><i>Fabriköffnungstage pro Jahr:</i> <math>d_{FabrÖff}</math></p> <p><i>Zuschlags- Faktor für aufgewendete Arbeitsstunden:</i> <math>Faktor_{AAS}</math></p> <p><i>Fertigungsstundensatz Werker:</i> <math>StSatz_{Fert}</math></p>	
Kosten für Anlage Führen	$K_{AF}$	$K_{AF} = \frac{\# AP_{AF} \cdot AZ_{Tag \& AP} \cdot d_{FabrÖff} \cdot Faktor_{AAS} \cdot StSatz_{Fert}}{\# Fzg_{MZ}} \cdot \frac{AnlagenInvest_{ges_{SK}}}{\sum AnlagenInvest_{ges_{SK}}}$ <p><i>Gesamter Anlagen- Invest pro Schutzkreis:</i> <math>AnlagenInvest_{SK}</math></p>	

Abschreibung	$Ab$	$Ab = \frac{AnlagenInvest_{SK}}{\# Fzg_{MZ}}$	
Kalkulatorische Zinsen	$Z_{kalk}$	$Z_{kalk} = \frac{AnlagenInvest_{SK} \cdot i_{kalk} \cdot 0,5 \cdot LZ_{MZ}}{\# Fzg_{MZ}}$ <p><i>Kalkulatorischer Zinssatz:</i> <math>i_{kalk}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sind kalkulatorische Kosten für das im Unternehmen durchschnittlich investierte betriebsnotwendige Kapital</li> <li>- werden längere Zeiträume betrachtet, so sind die kalkulatorischen Zinsen auf das durchschnittlich gebundene Kapital zu berechnen</li> </ul>
(Anlagen-) Invest für KaroBau/SGR/SK	$I_{ges}$	$I_{ges} = AnlagenInvest$ <p>1. Ebene: <math>I_{ges} = AnlagenInvest_{KaroBau}</math></p> <p>2. Ebene: <math>I_{ges} = AnlagenInvest_{SGR}</math></p> <p>3. Ebene: <math>I_{ges} = AnlagenInvest_{SK}</math></p> <p><i>Gesamter Anlagen- Invest pro Schutzkreis:</i> <math>AnlagenInvest_{SK}</math></p> <p><i>Gesamter Anlagen- Invest pro Hauptschweiß-gruppe:</i> <math>AnlagenInvest_{SGR}</math></p> <p><i>Gesamter Anlagen- Invest für den Karosseriebau:</i> <math>AnlagenInvest_{KaroBau}</math></p>	



Invest- Anteil der einzelnen Betriebsmittel	$Anteil_{Invest}$	$Anteil_{Invest_{Rob}} = \frac{I_{Rob}}{I_{ges}} \cdot 100$ $Anteil_{Invest_{FüTechnik}} = \frac{I_{FüTechnik}}{I_{ges}} \cdot 100$ $Anteil_{Invest_{SpTechnik}} = \frac{I_{SpTechnik}}{I_{ges}} \cdot 100$ <i>Investitionen für Roboter: <math>I_{Rob}</math></i> <i>Investitionen für Messtechnik: <math>I_{MessTechnik}</math></i> <i>Investitionen für Fördertechnik: <math>I_{FöTechnik}</math></i> <i>Investitionen für Spanntechnik (Vorrichtungen): <math>I_{SpTechnik}</math></i>	$Anteil_{Invest_{MessTechnik}} = \frac{I_{MessTechnik}}{I_{ges}} \cdot 100$ $Anteil_{Invest_{FöTechnik}} = \frac{I_{FöTechnik}}{I_{ges}} \cdot 100$ <i>Investitionen für Fügetechnik: <math>I_{FüTechnik}</math></i>	- prozentualer Anteil des Invests der einzelnen Betriebsmittel- Arten am Gesamtinvest
Anteil sonstiger Kosten	$Anteil_{Ksonst}$	$Anteil_{K_{sonst}} = \frac{K_{sonst}}{HK} \cdot 100$ 1. Ebene: $HK = HK_{KaroBau}$	2. Ebene: $HK = HK_{SGR}$ 3. Ebene: $HK = HK_{SK}$	- Ermittlung der sonstigen Kosten gemäß Kostenverrechnung [DA KORLUß, Anlage A4-1]
Produkt- flexibilität	$F_{Prod}$	$F_{Prod} = \frac{\#Derivate}{Linie}$ 1. Ebene: $F_{Prod} = \frac{\#Derivate}{Linie}$ <i>Anzahl der Derivate: <math>\#Derivate</math></i>	2. Ebene: $F_{Prod} = \frac{\#Derivate}{SGR}$	- Fähigkeit, möglichst viele Derivate auf einer Linie herzustellen - 3. Ebene nicht betrachten

Stückzahl- flexibilität	$F_{St}$	$F_{St} = 100 - \left( \frac{(K_{x_{neu}} - K_{x_{plan}})}{K_{x_{plan}}} \cdot 100 \right)$ <p><i>Kosten pro Karosse oder SGR bei geänderter Stückzahl:</i> <math>K_{x_{neu}}</math></p> <p><i>Kosten auf Kammlinie:</i> <math>K_{x_{plan}}</math></p>	<p>- Möglichkeit, die Produktion mengenmäßig in kürzester Zeit auf die Marktentwicklung und damit deren Nachfrageverhalten unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten anzupassen. [KORLUSS, S. 72]</p> <p>- 3. Ebene nicht betrachten</p>
Anpassungs- flexibilität (Modell- flexibilität)	$F_A$	$F_A = 100 - \left( \frac{I_{NeuLinie}}{I_{Erst}} \cdot 100 \right)$ <p>1. Ebene: <math>I_{Erst}</math> bzw. <math>I_{NeuLinie}</math> für den Karosseriebau gesamt</p> <p>2. Ebene: <math>I_{Erst}</math> bzw. <math>I_{NeuLinie}</math> jeweils pro SGR</p> <p>3. Ebene: <math>I_{Erst}</math> bzw. <math>I_{NeuLinie}</math> jeweils pro SK</p> <p><i>Invest für die neue Linie:</i> <math>I_{NeuLinie}</math></p> <p><i>Erst- Invest (Invest der vorhandenen Fertigungslinie):</i> <math>I_{Erst}</math></p>	<p>- Möglichkeit der Einführung eines neuen Fahrzeugmodells in die laufende Produktion auf einer vorhandenen Fertigungslinie → Integration bei minimalem Investment. [KORLUSS, S. 72]</p>
Mitarbeiter- Flexibilitätsgrad (Gruppen- flexibilität)	$F_{MA}$	$F_{MA} = \frac{\sum_{i=1}^{\#MA} \#MA_{Ersatz_i}}{\#MA \cdot (\#MA - 1)} \cdot 100$ <p>[GROTH, 1992, S. 56f]</p> <p>1. Ebene: Durchschnittswert der Flexibilitätsgrade der einzelnen Gruppen</p> <p>2. Ebene: <math>\#MA</math> pro SGR</p> <p><i>Anzahl der Mitarbeiter im KaroBau/pro SGR:</i> <math>\#MA</math></p> <p><i>Anzahl der Mitarbeiter einer Gruppe, die die Mitarbeiter am Arbeitsplatz auf Grund ihrer Qualifikation ersetzen können:</i> <math>\#MA_{Ersatz}</math></p>	<p>- Beurteilung der Einsetzbarkeit der Mitarbeiter an verschiedenen Arbeitsplätzen bzw. der gegenseitigen Ersetzbarkeit der Mitarbeiter aufgrund ihrer Qualifikation. [GROTH, 1992, S. 52]</p> <p>- 3. Ebene nicht betrachten</p>

Ideenreichtum	IR	$IR = \frac{\#Ideen_{umgesetzt}}{\#Ideen_{eingereicht}} \cdot 100 \quad \text{oder} \quad IR = \frac{\#Ideen_{umgesetzt} \cdot \sum_{i=1}^n Einsp_i}{\#MA}$ <p>1. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{KaroBau}</math>      2. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{SGR}</math></p> <p>Anzahl eingereicherter Ideen: <math>\#Ideen_{eingereicht}</math></p> <p>Anzahl umgesetzter Ideen: <math>\#Ideen_{umgesetzt}</math></p> <p>Einsparung (in €) durch umgesetzte Idee i: <math>Einsp_i</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewertung des Ideenreichtums der Mitarbeiter mittels</li> <li>- Anteil der umgesetzten Ideen</li> <li>- Einsparpotential der umgesetzten Ideen pro MA</li> <li>- 3. Ebene nicht betrachten</li> </ul>
Gesundheitsstand	GeSt	$GeSt = \frac{(\#MA - \#MA_{krank})}{\#MA} \cdot 100 \quad \text{bzw.} \quad GeSt = \frac{(AZ_{Soll} - FT_{krank})}{AZ_{Soll}} \cdot 100$ <p>1. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{KaroBau}</math>      2. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{SGR}</math></p> <p>Aus Krankheitsgründen abwesende Mitarbeiter: <math>\#MA_{krank}</math></p> <p>Soll- Arbeitszeit in Tagen: <math>AZ_{Soll}</math></p> <p>Durch Krankheit bedingte Fehltage: <math>FT_{krank}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der nicht (aus Krankheitsgründen) abwesenden Mitarbeiter</li> <li>- sagt aus, wie sich der Gesundheitszustand der Mitarbeiter im Zeitverlauf entwickelt. [OSSOLA-HARING, 1999, S. 579]</li> <li>- 3. Ebene nicht betrachten</li> </ul>
Unfallhäufigkeit	UH	$UH = \frac{\#Unfälle}{\#MA} \cdot 100 \quad [\text{OSSOLA-HARING, 1999, S. 582}]$ <p>1. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{KaroBau}</math>      2. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{SGR}</math></p> <p>Anzahl der Unfälle: <math>\#Unfälle</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- sagt aus, wie hoch die Anzahl der Unfälle im Verhältnis zu der Gesamtmitarbeiterzahl ist. [OSSOLA-HARING, 1999, S. 582]</li> <li>- 3. Ebene nicht betrachten</li> </ul>
Anteil zufriedener Mitarbeiter (MA-Zufriedenheit)	$Z_{MA}$	$Z_{MA} = \frac{\#MA_{zufrieden}}{\#MA} \cdot 100$ <p>1. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{KaroBau}</math>      2. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{SGR}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Mitarbeiter-Zufriedenheit</li> <li>- 3. Ebene nicht betrachten</li> <li>- Ermittlung der Anzahl „zufriedener“ Mitarbeiter mittels AUDI-Stimmungsbarometer</li> </ul>

		Anzahl „zufriedener“ Mitarbeiter (gemäß dem AUDI-Stimmungsbarometer): $\#MA_{\text{zufrieden}}$	
Qualifikations-grad	$QG$	$QG = \frac{\sum_{i=1}^4 Fert_i \cdot \#MA_{Fert_i}}{4} + \frac{\sum_{j=1}^6 Fäh_j \cdot \#MA_{Fäh_j}}{6}$ <p>[STAUSBERG, 2002, S. 90]</p> <p>1. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{KaroBau}</math>      2. Ebene: <math>\#MA = \#MA_{SGR}</math></p> <p>Klasse i der Fertigkeiten: <math>Fert_i</math></p> <p>Klasse j der Fähigkeiten: <math>Fäh_j</math></p> <p>Anzahl der Mitarbeiter in der Klasse j der Fähigkeiten: <math>\#MA_{Fäh_j}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beurteilung der Mitarbeiter-qualifikation</li> <li>- wird aus den Aspekten Fertigkeiten und Fähigkeiten der Mitarbeiter zusammengesetzt</li> <li>- 3. Ebene nicht betrachten</li> </ul>
Anzahl normierter Verbindungs-äquivalente => nach LCC (Life Cycle Costs) normiert	$\#V\ddot{A}_{norm}$	$PB_{VT} = \#V\ddot{A}_{norm}$ <p>Produktbeeinflussung – Verbindungstechnik: <math>PB_{VT}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung - Verbindungstechnik</li> <li>- Anzahl der normierten Verbindungsäquivalente pro Karosse/SGR/SK</li> </ul>
Anzahl verwendeter Füge-technologien	$\#F\ddot{u}Tech_{gesamt}$	$PB_{F\ddot{u}Tech} = \#F\ddot{u}Tech_{gesamt}$ <p>Produktbeeinflussung – Technologiemark: <math>PB_{F\ddot{u}Tech}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung - Technologiemark</li> <li>- Anzahl der verwendeten Füge-technologien im pro Karosse/SGR/SK</li> </ul>
Anteil „fähiger“ Füge-technologien	$PB_{ProSi}$	$PB_{ProSi} = \frac{\#F\ddot{u}Tech_{fähig}}{\#F\ddot{u}Tech_{gesamt}} \cdot 100$ <p>Anzahl der Füge-technologien, für die der Fähigkeitsnachweis erbracht ist: <math>\#F\ddot{u}Tech_{fähig}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung- Prozesssicherheit eingesetzter Füge-technik</li> <li>- Anteil der Füge-technologien, für die der Fähigkeitsnachweis erbracht ist.</li> <li>- Anforderung/Soll- Wert variiert je nach Projektzeitpunkt</li> </ul>
Anteil warm-		$PB_{WStMix} = \frac{Gew_{warmSt}}{Gew_{ges}} \cdot 100\%$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung - Werkstoffmix</li> </ul>

umgeformter Stähle	$PB_{WStMix}$	1. Ebene: $Gew_{ges}$ pro Karosse Gewicht der gesamten Karosse/einer SGR: $Gew_{ges}$ Gewicht des Anteils warmumgeformter Stähle: $Gew_{warmSt}$	2. Ebene: $Gew_{ges}$ pro Hauptschweißgruppe - Gewichtsanteil der warmumgeformten Stähle
Anzahl der Einzelteile	$PB_{Teile}$	$PB_{Teile} = \#Ezt$ Anzahl der Einzelteile pro Karosse/SGR: $\#Ezt$	- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung - Teileanzahl - Einzelteile = Blech- und Gussteile - nicht im Betrachtungsumfang enthalten sind Standardteile
Varianten- vielfalt (absolute und relative)	$VV_{absolut}$ $VV_{relativ}$	$VV_{absolut} = \#Var$ $VV_{relativ} = \frac{\#Var}{x_{plan}} \cdot 100$ 1.Ebene: $VV_{relativ} = \frac{\#Var_{KaroBau}}{x_{plan}} \cdot 100$ 2.Ebene: $VV_{absolut} = \#Var_{SGR}$ 3.Ebene: $VV_{absolut} = \#Var_{SK}$ Anzahl der Varianten im KaroBau/pro SGR/pro SK: $\#Var$	- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktbeeinflussung – Anzahl der Varianten - nach SOP $x_{ist}$ statt $x_{plan}$
Anteil standardisierter Fügetechnologien	$S_{FüTechnik}$	$S_{FüTechnik} = \frac{\#FüTech_{stand}}{\#FüTech_{gesamt}} \cdot 100$ Anzahl standardisierter Fügetechnologien pro Karosse/SGR des geplanten Modells: $\#FüTech_{stand}$	-Bewertung des Handlungsfeldes Standardisierung der Fügetechnik - 3. Ebene nicht betrachten
Anteil der Geo- Stationen standardisierter Fügefølge	$S_{FüFolge}$	$S_{FüFolge} = \frac{\#Geo_{stand}}{\#Geo_{gesamt}}$ Anzahl der Geo- Stationen mit standardisierter Fügefølge: $\#Geo_{stand}$ Anzahl der Geo- Stationen pro Karosse/SGR des geplanten Modells: $\#Geo_{gesamt}$	- Bewertung der Standardisierung der Fügefølge - 3. Ebene nicht betrachten
Anteil standardisierter Baugruppen	$S_{BG}$	<b>Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.</b> 1. Ebene: $\#BG_{stand}$ bzw. $\#BG_{gesamt}$ für den Karosseriebau gesamt 2. Ebene: $\#BG_{stand}$ bzw. $\#BG_{gesamt}$ jeweils pro SGR Anzahl der standardisierten Baugruppen pro Karosse/SGR: $\#BG_{stand}$	- Anteil der Baugruppen, die in einem oder mehreren Fahrzeugprojekten im Sinne einer standardisierten Baugruppe zum Einsatz kommen - 3. Ebene nicht betrachten

		<i>Anzahl der gesamten Baugruppen pro Karosse/SGR: <math>\# BG_{gesamt}</math></i>	
COP- Anteil	<i>COP - Anteil</i>	$COP - Anteil = \frac{\# COP}{\# BT} \cdot 100$ <p>1. Ebene: <math>COP - Anteil = \frac{\# COP_{Karosse}}{\# BT_{Karosse}} \cdot 100</math></p> <p>2. Ebene: <math>COP - Anteil = \frac{\# COP_{SGR}}{\# BT_{SGR}} \cdot 100</math></p> <p><i>Anzahl der gesamten Bauteile pro Karosse/SGR: <math>\# BT</math></i></p> <p><i>Anzahl der Carry- Over- Parts (Gleichteile) pro Karosse/SGR: <math>\# COP</math></i></p>	<p>- Anteil der Teile, die in einem oder mehreren Fahrzeugprojekten im Sinne eines Gleichteils zum Einsatz kommen.</p> <p>- Normteile in Betrachtung nicht einbezogen</p>
Wieder- verwendungsgrad	WVW	$WVW = \frac{(K_{BeschWK} - K_{\dot{U}})}{I_{Ersatz}} \cdot 100$ <p><i>Beschaffungskosten der aus der Altanlage wieder einsetzbaren Komponenten: <math>K_{\dot{U}}</math></i></p> <p><i>Überholungskosten der aus der Altanlage wieder einsetzbaren Komponenten: <math>K_{BeschWK}</math></i></p> <p><i>Ersatzinvestition der Gesamtanlage: <math>I_{Ersatz}</math></i></p>	<p>- Grad der Wiedereinsetzbarkeit von Altanlagen</p> <p>- 2./3. Ebene nicht betrachten</p>
Anteil standardisierter Komponenten	$S_{Komp}$	$S_{Komp} = \frac{\# Komp_{stand}}{\# Komp_{gesamt}} \cdot 100$ <p>1. Ebene: <math>\# Komp_{stand}</math> bzw. <math>\# Komp_{gesamt}</math> für den Karosseriebau gesamt</p> <p>2. Ebene: <math>\# Komp_{stand}</math> bzw. <math>\# Komp_{gesamt}</math> jeweils pro SGR</p> <p>3. Ebene: <math>\# Komp_{stand}</math> bzw. <math>\# Komp_{gesamt}</math> jeweils pro SK</p> <p><i>Anzahl standardisierter Komponenten: <math>\# Komp_{stand}</math></i></p> <p><i>Anzahl der gesamten Komponenten: <math>\# Komp_{gesamt}</math></i></p>	<p>- Komponentenstandards sind Konzernstandards</p>

Produktionskoeffizient	$PKoeff = \frac{1}{P}$	$\frac{1}{P} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{\text{des Produktionsfaktors}}}{\text{Ausbringungsmenge}} = \frac{\text{Input}}{\text{Output}}$ <p>Differenzierung:</p> $PKoeff_{\text{Invest}} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{\text{Invest}}}{\text{Ausbringungsmenge}}$ $PKoeff_{\text{Personal}} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{\text{Personal}}}{x_{\text{plan}}}$ $PKoeff_{\text{Fläche}} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{\text{Fläche}}}{\text{Ausbringungsmenge}}$	<p>- zeigt die Ergiebigkeit von Produktionsfaktoren. [FISCHBACH, 2006, S. 107]</p> <p>- sagt aus, wie viel ME von der Inputart benötigt werden, um eine Outputeinheit zu produzieren. [BÜRKLE[VAHRENKAMP, 2000]]</p>
Produktionskoeffizient Personal	$PKoeff_{\text{Personal}}$	$PKoeff_{\text{Personal}} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{\text{Personal}}}{x_{\text{plan}}}$ <p>Differenzierung: Faktoreinsatzmenge Personal</p> <p>Anlage führen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Einlegen/Fügen</li> <li>+ Logistik/Materialbereitstellung (innerhalb KaroBau)</li> <li>+ TPM/Wartung (Instandhaltung Anlage)</li> <li>+ Prüfen (Qualität der Anlage)</li> </ul> <hr/> <p>= F- Zeit (Personal netto)</p> <p>+ AAS- Faktor</p> <hr/> <p>= AASEK (Personal brutto)</p> <p>+ unterstützende Funktionen</p> <hr/> <p>= Harbour- h</p> <p>→ 3. Ebene: F- Zeit</p> <p>→ 2. Ebene: Personal brutto</p> <p>→ 1. Ebene: Harbour- h</p>	<p>- zeigt die Ergiebigkeit des Produktionsfaktors Personal. [FISCHBACH, 2006, S. 107]</p> <p>- Angabe der F- Zeit bereits in €/Fzg.</p> <p>- interessant: Logistik- /TPM- Anteil</p> <p>- Problem Harbour- h: Fertigungstiefe</p>

Produktionskoeffizient Invest	$PKoeff_{Invest}$	$PKoeff_{Invest} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{Invest}}{\# Fzg_{MZ}}$ <p>1. Ebene: <math>\text{Faktoreinsatzmenge}_{Invest} = \text{AnlagenInvest}_{KaroBau}</math></p> <p>2. Ebene: <math>\text{Faktoreinsatzmenge}_{Invest} = \text{AnlagenInvest}_{SGR}</math></p>	<p>- zeigt die Ergiebigkeit des Produktionsfaktors Invest. [FISCHBACH, 2006, S. 107]</p> <p>- geplante Nutzungsdauer beträgt 7 Jahre, deshalb Betrachtung der im Modellzyklus insgesamt hergestellten Fahrzeuge.</p>
Produktionskoeffizient Fläche	$PKoeff_{Fläche}$	$PKoeff_{Fläche} = \frac{\text{Faktoreinsatzmenge}_{Fläche}}{x_{plan}}$ <p>1. Ebene: <math>\text{Faktoreinsatzmenge}_{Fläche} = NGF_{KaroBau}</math></p> <p>2. Ebene: <math>\text{Faktoreinsatzmenge}_{Fläche} = NF_{SGR}</math></p> <p>3. Ebene: <math>\text{Faktoreinsatzmenge}_{Fläche} = HNF_{SK}</math></p>	<p>- zeigt die Ergiebigkeit des Produktionsfaktors Fläche. [FISCHBACH, 2006, S. 107]</p> <p>- die Faktoreinsatzmenge bezieht sich auf die geplante Ausbringungsmenge pro Tag (Kammlinien- Stückzahl).</p> <p>- die Auswahl der Begriffe der Faktoreinsatzmenge für die jeweiligen Ebenen erfolgte nach DIN 277-1 und DIN 277-2.</p>
Produktivität	$P$	$P = \frac{\text{Ertrags(Ausbringungs-)menge}}{\text{Einsatzmenge}} \quad [\text{MEYER, 2006, S. 99}]$ $P = \frac{\text{Ausbringungsmenge}}{\text{Faktoreinsatzmenge}} = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} \quad [\text{FISCHBACH, 2006, S.33}]$ $P = \frac{\text{Mengenleistung}}{\text{Zeitaufwand}} \quad [\text{SCHOTT, 1991, S. 57}]$ <p>Differenzierung:</p> $\text{Arbeitsproduktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Arbeitseinsatz}}$ $\text{Flächenproduktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Flächeneinsatz}}$ $\text{Kapitalproduktivität} = \frac{\text{Output}}{\text{Kapitaleinsatz}}$	<p>- zeigt den Erfolg eines bestimmten Leistungseinsatzes. [FISCHBACH, 2006, S. 33]</p> <p>- mengenmäßige Ergiebigkeit der Güterherstellung. [SCHOTT, 1991, S. 57]</p> <p>- aussagekräftig erst durch Vergleich</p> <p>- Ungleichnamigkeit der Leistungen/heterogene Faktoreinsatzmengen</p> <p>→ Lösungsansätze:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Umrechnung auf Geldgrößen</li> <li>- Bildung von Teilproduktivitäten</li> </ul>



Auslastungs- grad	A	$A = \frac{Ist - Leistung}{Kapazität} \cdot 100 \quad [EBERT, 1999, S. 41ff]$ <p>1. Ebene: Auslastungsgrad der Anlage</p> $A_{Anlage} = \frac{x_{ist}}{x_{plan}} \cdot 100$ <p>2. Ebene: durchschnittlicher Auslastungsgrad der Werker:</p> $A_{WA} = \frac{\sum VZ_{AP}}{\# AP \cdot TZ_{tech}} \cdot 100$ <p>[AUDI, Drehbuch „F-Zeit Berichtswesen“]</p> $VZ_{AP} = TZ_{tech} - TAZ$ <p>3. Ebene:</p> $A_{Rob} = \frac{\# Punkte_{GEO} \cdot FZ_{GEO} + \# Punkte_{AUS} \cdot FZ_{AUS}}{TZ_{tech} \cdot \# Roboter_{SK}} \cdot 100$ <p>1. und 2. Ebene: Auslastungsgrad der Fläche (Flächennutzungsgrad)</p> $A_{Fläche} = \frac{Fl_{genutzt}}{Fl_{vorh}} \cdot 100 \quad [STAUSBERG, 2002, S.40]$	<p>- Der Kapazitätsauslastungsgrad beschreibt das Verhältnis der Ist- Leistung zur vorhandenen Kapazität. Er gibt die effektive Nutzung von Produktionsfaktoren, insbesondere Betriebsmittel, an. [EBERT, 1999, S. 41ff]</p> <p>- Verhältnis von tatsächlicher Ausbringungsmenge einer Anlage oder eines Prozesses und der möglichen Ausbringungsmenge (Kapazität). [STAUSBERG, 2002, S. 52]</p>
Ausbringungs- menge	$x_{plan}$	$x_{plan} = f(ED, V, TZ_{tech}) \quad x_{plan} = \frac{ED \cdot V}{TZ_{tech}}$ <p>Einschaltdauer (Belegungszeit): ED Verfügbarkeit: V Technische Taktzeit: <math>TZ_{tech}</math></p>	
		$NAZ = VZ_{Nacharbeit}$	<p>- Zeit für die Durchführung von Nacharbeit</p>

Nacharbeitszeit	NAZ	Verrichtungszeit für Nacharbeitstätigkeiten: $VZ_{Nacharbeit}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zeitanteil an der Taktausgleichszeit eines Werkers im Finish</li> <li>- Ermittlung schwierig</li> <li>- nur 1. Ebene betrachten</li> </ul>
Audit- Note	$Q_{OF}$	$Q_{OF} = \text{Audit} - \text{Note}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktqualität-Oberfläche</li> <li>- Note gemäß Audit- Plan</li> <li>- Oberflächen- Audit findet am Zählpunkt 5.3 statt</li> </ul>
Anteil roter Funktionsmaße	$Q_{Geo}$	$Q_{Geo} = \frac{\#FM_{rot}}{\#FM_{gesamt}} \cdot 100$ <p>Anzahl roter Funktionsmaße: <math>\#FM_{rot}</math></p> <p>Anzahl der Funktionsmaße gesamt: <math>\#FM_{gesamt}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktqualität-Geometrie</li> <li>- Anteil der funktional relevanten Maße, welche außerhalb des angegebenen Toleranzbereichs liegen.</li> <li>- Anforderung/Soll- Wert variiert je nach Projektzeitpunkt</li> </ul>
Bemusterungs-note	$Q_{Fest}$	$Q_{Fest} = \text{Bemusterungsnote}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>- dient der Beurteilung des Handlungsfeldes Produktqualität-Festigkeit</li> <li>- Note 1: entspricht der Spezifikation in allen Belangen</li> <li>- Note 3: entspricht der Spezifikation mit Einschränkungen, bedingt (mit Zusatzmaßnahmen) verbaubar</li> <li>- Note 6: entspricht der Spezifikation nicht, mit Zusatzmaßnahmen nicht verbaubar</li> <li>- Anforderung/Soll- Wert variiert je nach Projektzeitpunkt</li> </ul>
Gesamtanlagen effektivität/Overall Equipment Effectiveness	GAE	$GAE = f_V \cdot f_L \cdot f_Q \quad [\text{STAUSBERG, 2002, S. 47}]$ <p>Einflussfaktoren:</p> <p>Verfügbarkeitsgrad: <math>f_V = \frac{NLZ_{tech}}{ED}</math></p> <p>Leistungsgrad: <math>f_L = \frac{TZ_{tech} \cdot x_{ist}}{NLZ_{tech}}</math></p> <p><math>TZ_{tech} = \frac{NLZ_{tech}}{x_{plan}}</math></p> <p>Qualitätsgrad: <math>f_Q = \frac{x_{ist} - x_{niO}}{x_{ist}}</math></p> <p>Technische Nutzlaufzeit: <math>NLZ_{tech}</math></p> <p>Tatsächliche Ausbringungsmenge: <math>x_{ist}</math></p> <p>Anzahl der produzierten Stück, die „nicht in Ordnung“ sind: <math>x_{niO}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zentrale Größe des TPM- Konzepts [STAUSBERG, 2002, S.47]</li> <li>- während der Planungsphase Bestimmung der GAE mittels Simulation</li> </ul>

Erstläuferquote/ Direktläufer- quote (First Pass Yield) bzw. Qualitätsgrad	FPYR  $f_Q$	$FPYR = \frac{\#im\_ersten\_Anlauf\_fehlerfreier\_Einheiten}{\#aller\_Einheiten}$ <p>[STAUSBERG, 2002, S.41]</p> $f_Q = \frac{n_{prod} - n_{niO}}{n_{prod}}$ <p>[STAUSBERG, 2002, S.47]</p> <p><math>n_{prod} \dots produzierte\_Menge</math>  <math>n_{niO} \dots Ausschuss + Nacharbeit</math></p>	<p>First Pass Yield</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- bezeichnet den Anteil von Einheiten, die im ersten Anlauf vollständig fehlerfrei waren</li> <li>- ist praktisch auf jeden Prozess anwendbar</li> <li>- in Prozessendprüfungen eine gute Kennzahl zur Darstellung der Qualitätsfähigkeit aller vorgelagerten Prozesse. [STAUSBERG, 2002, S.41]</li> </ul> <p>Qualitätsgrad</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil der i.O.- Produkte</li> <li>- Maß für die Qualität der produzierten Teile. [STAUSBERG, 2002, S.91]</li> <li>- Maßstab für die Qualität der Fertigung. [FISCHBACH, 1999, S. 87]</li> <li>- Ermittlung nur auf Ebene 1</li> <li>- Pendant: Ausschussquote</li> </ul>
Lieferbereitschaftsgrad/ Lieferpünktlichkeit	LBG	$LBG = \frac{\#BedAnf_{termin}}{\#BedAnf_{gesamt}}$ <p>[STAUSBERG, 2002, S. 66]</p> $LBG = \frac{\#Sachverhalte_{termin}}{\#Sachverhalte_{bestellt}}$ <p>[LASCH, 2005, S. 40]</p> <p>Anzahl termingerecht ausgelieferter Bedarfsanforderungen innerhalb eines bestimmten Zeitraums: <math>\#BedAnf_{termin}</math></p> <p>Anzahl der gesamten Baugruppen pro Karosse/SGR: <math>\#BedAnf_{gesamt}</math></p> <p>Anzahl auf gewünschten Liefertermin gelieferter Sachverhalte innerhalb eines bestimmten Zeitraums: <math>\#Sachverhalte_{termin}</math></p> <p>Anzahl bestellter Sachverhalte innerhalb eines bestimmten Zeitraums: <math>\#Sachverhalte_{bestellt}</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anteil an Bedarfsanforderungen, der termingerecht erfüllt werden konnte [STAUSBERG, 2002, S. 66]</li> <li>- Kennziffer zur Messung der Qualität von Lieferanten und der eigenen Lieferbereitschaft. [FISCHBACH, 1999, S. 100]</li> <li>- Einhaltung des festgelegten Produktionsprogramms [AUDI]</li> <li>- Festlegung des Produktionsprogramms erfolgt wöchentlich</li> </ul>
Durchlaufzeit der getauften Karosse	$DLZ_{getauft}$	$DLZ_{getauft} = \Delta t = t_1 - t_K$ <p>Zeitpunkt Prozessende: <math>t_1</math></p> <p>Zeitpunkt der eindeutigen Kundenauftragszuordnung: <math>t_K</math></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die DLZ der getauften Karosse ist die Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt der eindeutigen Kundenauftragszuordnung und dem Zeitpunkt des Prozessendes.</li> </ul>

<p>Gesamte Durchlaufzeit</p>	<p><math>DLZ_{gesamt}</math></p>	$DLZ_{gesamt} = \Delta t = t_1 - t_0 \quad [\text{STAUSBERG, 2002, S. 28}]$ <p>Bearbeitungszeit einschließlich Rüstzeit <span style="float: right;">[WIENDAHL(GROTH)]</span></p> <p>+ Transportzeit</p> <p>+ Kontrollzeit</p> <p>+ Liegezeit</p> <p>= DLZ</p> <p>Übergangszeit <span style="float: right;">[HOLZKÄMPER(SCHNEIDER)]</span></p> <p>(=Nachliegezeit + Transportzeit + Vorliegezeit)</p> <p>+ Durchführungszeit</p> <p>(= Rüstzeit + Bearbeitungszeit)</p> <p>= DLZ</p> <p>Zeitanteil OP's <span style="float: right;">[AUDI]</span></p> <p>(= Hauptzeit (Fügen) + Nebenzeit)</p> <p>+ Zeitanteil der Entkopplungen zwischen den OP's</p> <p>= DLZ pro Schutzkreis</p> <p>1. Ebene: Fertigungsbereich Karosseriebau</p> <p>2. Ebene: Fertigungsbereich Hauptschweißgruppe</p> <p>3. Ebene: Fertigungsbereich Schutzkreis</p> <p><i>Zeitpunkt Prozessstart:</i> <math>t_0</math></p>	<p>- Die DLZ ist das Maß für die Zeit, die ein Teil von dem Eintritt in den Fertigungsbereich über die Bearbeitung bis zum Austritt benötigt. [WIENDAHL]</p> <p>- Die DLZ ist die Gesamtzeit zwischen dem Start und dem Ende eines Prozesses. Sie beinhaltet die Zeiten mit wertschöpfenden Tätigkeiten wie auch Zeiten ohne Wertschöpfung. [STAUSBERG, 2002, S. 27f]</p> <p>- Die DLZ sagt aus, wie lange die Bearbeitung eines Objektes dauert, bis das Ergebnis vorliegt. Dabei werden parallele Teilprozesse nicht berücksichtigt. [SCHMELZER/SESSELMANN, 2006, S.252]</p>
<p>Durchlaufzeit-Effizienz</p>	<p><math>DLZ\text{-}Effizienz</math></p>	$DLZ\text{-}Effizienz = \frac{\sum_{i=1}^n BZ_i}{ZZ} \cdot 100 \quad [\text{SCHMELZER/SESSELMANN, 2006, S. 259}]$ $BZ_i = HZ_i = DLZ_{OP_i} - NZ_i$ $ZZ = \sum_{i=1}^n DLZ_{gesamt_i}$ <p><i>Zykluszeit:</i> ZZ</p>	<p>- Indikator für den Anteil der Bearbeitungszeit (=theoretische DLZ) eines bestimmten Prozesses [CHASE/JACOBS/AQUILANO]</p> <p>- Die Bearbeitungszeit enthält nur die Zeitanteile, die unmittelbar für die Erstellung des Prozessergebnisses verwendet werden. [SCHMELZER/SESSELMANN, 2006, S. 258f]</p> <p>- Die Zykluszeit gibt errechnet sich aus durch Addition der Prozess-(DL-) Zeiten aller Teilprozesse, auch die der zeitparallelen Teilprozesse.</p> <p>- Im Falle parallel ablaufender Teilprozesse ist die Zykluszeit länger als die Durchlaufzeit (Ebene 1 und 2).</p> <p>- Im Spezialfall rein sequentiell ablaufender Teilprozesse sind Zykluszeit und DLZ identisch (Ebene 3).</p>

Anlage 7: Informationstransformation in den Phasen der Grobplanung

<b>Input ( -39 bis -33 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung (Konzeptplanung)	Produktionsplanung (Grobplanung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ziele und Zielkatalog</li> <li>▪ Fertigungskonzept</li> <li>▪ Herstellbarkeit (Fzg.-Konzept)</li> <li>▪ Werkstoffkonzept</li> <li>▪ Taufung (Hausteile/Kaufteile?)</li> <li>▪ Standort (Fläche, Arbeitszeitmodell)</li> </ul>
Produktionsplanung (Konzeptplanung)	Controlling Rechnungswesen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Schätzung Investitionen</li> <li>▪ Personalkosten (Fertigungszeit geschätzt)</li> </ul>
Modellreihe (Projektleitung)	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terminplan</li> <li>▪ Technische Produktbeschreibung</li> <li>▪ Technologieauswahl (neue Verfahren?)</li> </ul>
Qualitätssicherung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Funktionsmaße</li> <li>▪ Qualitätsziele</li> </ul>
Modellreihe/Vertrieb	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Anlauf- u. Stückzahlscenarien</li> </ul>
Technische Entwicklung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Stücklisten (grob)</li> <li>▪ Varianten (grob)</li> </ul>
<b>Output ( -39 bis -33 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung	Modellreihe/ Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Virtuelles Produktionskonzept</li> <li>▪ Fertigungsverfahren</li> <li>▪ Prozessmodelle (Fertigungsprozess, Layout, Taktung)</li> <li>▪ Technologieauswahl</li> </ul>
Produktionsplanung	Controlling Rechnungswesen/ Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investitionen (Teile- und Baugruppenebene)</li> <li>▪ Personalkosten (detailliert)</li> </ul>
Produktionsplanung	Technische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produktbeeinflussung</li> </ul>
Produktionsplanung	Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reporting Zielerreichung, Termintreue</li> <li>▪ Besetzung SE-Teams</li> </ul>

<b>Input ( -33 bis -27 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung	Modellreihe/ Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Virtuelles Produktionskonzept</li> <li>▪ Fertigungsverfahren</li> <li>▪ Prozessmodelle (Fertigungsprozess, Layout, Taktung)</li> </ul>
Produktionsplanung	Controlling Rechnungswesen/ Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Investitionen (Teile- und Baugruppenebene)</li> <li>▪ Personalkosten (detailliert)</li> </ul>
Produktionsplanung	Technische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Produktbeeinflussung</li> </ul>
Produktionsplanung	Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reporting Zielerreichung, Termintreue</li> <li>▪ Besetzung SE-Teams</li> </ul>
Technische Entwicklung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Variantenbäume und -ziele (Teile und BG)</li> <li>▪ Technische Produktbeschreibung (detailliert)</li> <li>▪ Verbindungstechnik</li> <li>▪ Fügefolge</li> <li>▪ Standardisierung</li> <li>▪ Spezifizierte Karosseriedaten (Steifigkeit, Gewicht, Crash etc.)</li> </ul>
<b>Output ( -33 bis -27 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ detailliertes Produktionskonzept</li> <li>▪ Variantenbewertung</li> <li>▪ Entscheidung Vorzugsplanungsvariante</li> </ul>
Produktionsplanung	Technische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zielerreichung Produktionsziele</li> <li>▪ Herstellbarkeit</li> <li>▪ Produktbeeinflussung (geom. Absicherung, Konstruktionsstand)</li> </ul>
Produktionsplanung	Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reporting Zielerreichung, Termintreue</li> </ul>

<b>Input ( -27 bis -18 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ detailliertes Produktionskonzept</li> <li>▪ detailliertes Produktionskonzept</li> <li>▪ Variantenbewertung</li> <li>▪ Entscheidung Vorzugsplanungs-variante</li> </ul>
Produktionsplanung	Technische Entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zielerreichung Produktionsziele</li> <li>▪ Herstellbarkeit</li> <li>▪ Produktbeeinflussung (geom. Absicherung, Konstruktionsstand)</li> </ul>
Produktionsplanung	Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reporting Zielerreichung, Termintreue</li> </ul>
Technische Entwicklung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spezifizierte Karosseriedaten (Steifigkeit, Gewicht, Crash etc.)</li> <li>▪ Stückliste für alle Varianten (100%)</li> </ul>
Modellreihe	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bestehende Restriktionen</li> </ul>
Vertrieb	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Volumen- und Mixplanung</li> </ul>
<b>Output ( -27 bis -18 Monate vor SOP)</b>		
<b>Lieferant</b>	<b>Kunde</b>	<b>Was?</b>
Produktionsplanung (Grobplanung)	Produktionsplanung (Feinplanung)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Abgeschlossene Methodenplanung</li> <li>▪ Design- und Konzeptbeurteilung</li> <li>▪ Herstellbarkeit</li> </ul>
Produktionsplanung/ Einkauf/Beschaffung	Produktionsplanung	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vergabe an Auftragnehmer</li> <li>▪ Bestätigung Lastenheft</li> </ul>
Produktionsplanung	Modellreihe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Reporting Zielerreichung, Termintreue</li> </ul>

## Anlage 8: Kennzahlenbedarf und Kennzahlenverfügbarkeit in der Grobplanung

### Ebene 1: Karosseriebau

Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Bedarf (Monate vor SOP)	benötigte Daten	Datenverfügbarkeit (System + Wann?)	Sollwertvorgabe (Wer?)	Referenz für Sollwertvorgabe
Kosten	Kosten reduzieren						
	Herstellkosten reduzieren	Herstellkosten	-39 grob; -33 fein > -18	Kosten (fix+variabel)	process designer; -33	Controlling	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
	Fixe Kosten reduzieren						
	Anlagen-Invest reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	-39 grob; -33 fein > -18	Abschreibung + kalk. Zinsen für gesamten Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest Roboter	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Rob / Anlageninvest gesamt Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest FüTechnik / Anlageninvest gesamt Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest Messtechnik	Anteil Invest für Messtechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Messtechnik / Anlageninvest gesamt Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest Fördertechnik	Anteil Invest für Fördertechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Fördertechnik / Anlageninvest gesamt Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Spanntechnik / Anlageninvest gesamt Karo	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	-39 grob; -33 fein > -18	Gesamtfläche Karo; kalk. Miete; ND; #Kfz (ND)	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
Zeit	DLZ reduzieren						
	DLZ getauft reduzieren	DLZ getauft	-33	DLZ getauft	manuelle Eingabe; -33	Unternehmensleitung/Vertrieb	Benchmarking
Effizienz	DLZ gesamt reduzieren	DLZ gesamt	-33 > -18	DLZ gesamt	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
	Wertschöpfungsanteil erhöhen	Durchlaufzeit-Effizienz	-33 > -18	Hauptzeit pro Karo; Zykluszeit pro Karo	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
	Effizienz steigern						
Qualität	Ressourceneinsatz reduzieren						
	Personaleinsatz reduzieren	Produktionskoeffizient Personal	-39 grob; -33 fein > -18	Harbour- h/Karosse	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Fläche reduzieren	Produktionskoeffizient Fläche	-39 grob; -33 fein > -18	Gesamtfläche Karo; # Karossen (Kammlinie)	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Invest reduzieren	Produktionskoeffizient Invest	-39 grob; -33 fein > -18	Gesamtinvest Karo; # Karossen; ND; kalk Zinsen; Faktor 0,5	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
	Ausbringungsmenge erhöhen	Ausbringungsmenge	-39	# Karossen	-39	Vertrieb/AZ-System	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
Flexibilität	Produktqualität erhöhen						
	Geometrie verbessern	Anteil roter Funktionsmaße	-33 > -18	# FM rot; # FM gesamt	FM-Katalog; -33	Vorgabe Planung	Vorgängerprojekt + Erfahrungswerte
	Prozessqualität erhöhen						
Produktbeeinflussun	GAE erhöhen	GAE gemäß Simulation	-33 > -27	GAE gemäß Simulation	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Vorgängerprojekt + Erfahrungswerte
	Flexibilität erhöhen						
	Produktflexibilität erhöhen	# Derivate/Linie	-39 > -33	# Derivate/Linie	Szenariobewertung im process designer; -39	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
	Stückzahlflexibilität erhöhen	Mehrkosten pro Karosse (0,5 Stückzahl) im Vergleich zu Kosten auf Kammlinie	-33 > -27	HK (Kammlinie+0,5 Stückzahl)	Szenariobewertung im process designer; -33	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
	Anpassungsflexibilität erhöhen	Kosten zur Einbringung eines neuen Derivats bezogen auf Erstinvest	-33 > -27	Invest (Linie & Aufbaulinie)	Szenariobewertung im process designer; -33	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
Standardisierung	Produktbeeinflussung stärken						
	Verbindungstechnik reduzieren	# normierter Verbindungsäquivalente	-33 > -27	# normierter Verbindungsäquivalente/Karosse	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	-33 > -27	# verwendeter Fügetechnologien	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik	Anteil "fähiger" Fügetechnologien	-33 > -27		Technologieentwicklung (kein System); -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Werkstoffmix reduzieren	Anteil warmumgeformter Stähle	-33 > -27	Masse warmumgeformter Stähle; Masse Karosse	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Produktkomplexität reduzieren						
	Teilanzahl reduzieren	Anzahl der Einzelteile	-39 > -27	# Einzelteile	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Variantenanzahl reduzieren	relative Variantenvielfalt	-39 > -27	# Varianten; # Karossen (Kammlinie; x-plan)	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Prozessstandards						
	Anlagenstandards	Wiederverwendungsgrad	-39 > -33	Wiederverwendungsgrad	process designer; -39	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
Standardisierung	Komponentenstandards	Anteil standardisierter Komponenten	-39 > -33	Anteil standardisierter Komponenten	process designer; -39	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Produktstandards						
	Fügetechnik standardisieren	Anteil standardisierter Fügetechnologien	-39 > -33	Anteil standardisierter Fügetechnologien	CAD; -39	Vorgabe Projekt/Modellreihe/Cont	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Fügefögen standardisieren	Anteil Geo's mit standardisierter Fügefögefolge	-33 > -27	Anteil Geo's mit standardisierter Fügefögefolge (VGM vs. neues M)	process designer; -33	Vorgabe Projekt/Modellreihe/Cont	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Baugruppen standardisieren	Anteil standardisierter Baugruppen	-39 > -33	# Module; # Baugruppen	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Modellreihe/Cont	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Teile standardisieren	COP- Anteil	-39 > -33	# Gleichteile; # Bauteile	Stückliste; -39	externe Vorgabe	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse



## Ebene 2: Anlage

Perspektive	Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Zeitpunkt	Datenverfügbarkeit (System + Wann?)	Sollwertvorgabe (Wer?)	Referenz für Sollwertvorgabe
Finanz- perspektive	Kosten	Kosten reduzieren					
		Herstellkosten reduzieren	Herstellkosten	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Controlling	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
		Fixe Kosten reduzieren					
		Anlagen-Invest reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Roboter	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Messtechnik	Anteil Invest für Messtechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Fördertechnik	Anteil Invest für Fördertechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Variable Kosten reduzieren					
Interne (Prozess-) Perspektive		Personalkosten reduzieren	Kosten für Personal	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		sonstige Kosten reduzieren	Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten	-33 > -18 fein	process designer; -33	Controlling	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
	Zeit	DLZ reduzieren					
		DLZ gesamt reduzieren	DLZ gesamt	-33 > -18	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
		Wertschöpfungsanteil erhöhen	DLZ- Effizienz	-33 > -18	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
	Effizienz	Effizienz steigern					
		Ressourceneinsatz reduzieren					
		Personaleinsatz reduzieren	Produktionskoeffizient Personal	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Fläche reduzieren	Produktionskoeffizient Fläche	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest reduzieren	Produktionskoeffizient Invest	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Komponentenauslastung erhöhen	Durchschnittl. Auslastungsgrad der Werker	-39 grob; -33 fein > -18	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
Lern- und Entwicklungsperspektive		Ausbringungsmenge erhöhen	Ausbringungsmenge	-39	-39	Vertrieb/AZ-System	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
	Qualität	Prozessqualität erhöhen					
		GAE erhöhen	GAE gemäß Simulation	-33 > -27	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Vorgängerprojekt + Erfahrungswerte
	Flexibilität	Flexibilität erhöhen					
		Produktflexibilität erhöhen	# Derivate/SGR	-39 > -33	Szenariobewertung im process designer; -39	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
		Stückzahlflexibilität erhöhen	Mehrkosten pro SGR (0,5 Stückzahl)	-33 > -27	Szenariobewertung im process designer; -33	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
		Anpassungsflexibilität erhöhen	Kosten zur Einbringung eines neuen Derivats bezogen auf Erstinvest	-33 > -27	Szenariobewertung im process designer; -33	Vorgabe Planung	Unternehmensleitung/Strategie
		Produktbeeinflussung stärken					
		Verbindungstechnik reduzieren	# Verbindungsäquivalente/SGR	-33 > -27	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	-33 > -27	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik	Anteil "fähiger" Fügetechnologien	-33 > -27	Technologieentwicklung (kein System); -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Werkstoffmix reduzieren	Anteil warmumgeformter Stähle	-33 > -27	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Produktkomplexität reduzieren					
		Teileanzahl reduzieren	Anzahl der Einzelteile	-39 > -27	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Variantenanzahl reduzieren	absolute Variantenvielfalt	-39 > -27	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Standardisierung	Prozessstandards					
		Anlagenstandards	Wiederverwendungsgrad	-39 > -33	process designer; -39	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Komponentenstandards	Anteil standardisierter Komponenten	-39 > -33	process designer; -39	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Produktstandards					
		Fügetechnik standardisieren	Anteil standardisierter Fügetechnologien	-39 > -33	CAD; -39	Vorgabe Projekt/Modellreihe/C	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Fügefolgen standardisieren	Anteil Geo's mit standardisierter Fügefolge	-33 > -27	process designer; -33	Vorgabe Projekt/Modellreihe/C	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Baugruppen standardisieren	Anteil standardisierter Baugruppen	-39 > -33	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Modellreihe/C	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Teile standardisieren	COP- Anteil	-39 > -33	Stückliste; -39	externe Vorgabe	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse

### Ebene 3: Schutzkreis

Perspektive	Erfolgsfaktor	Handlungsfelder	Meßgröße/Kennzahl	Zeitpunkt	benötigte Daten	Datenverfügbarkeit (System + Wann?)	Sollwertvorgabe (Wer?)	Referenz für Sollwertvorgabe
Finanz- perspektive	Kosten	Kosten reduzieren						
		Herstellkosten reduzieren	Herstellkosten	-39 grob; -33 fein > -18	Kosten (fix+variabel)	process designer; -33	Controlling	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
		Fixe Kosten reduzieren						
		Anlagen-Invest reduzieren	Kosten für Anlagen- Invest	-39 grob; -33 fein > -18	Abschreibung (Anlageninvest SK/#Fzg (ND) + kalk. Zinsen (Anlageninvest SK*1 (kalk.)*0,5*ND/#Fzg (ND)	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Roboter	Anteil Invest für Roboter am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Rob / Anlageninvest gesamt SK	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Fügetechnik	Anteil Invest für Fügetechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest FüTechnik / Anlageninvest gesamt SK	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Messtechnik	Anteil Invest für Messtechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Messtechnik / Anlageninvest gesamt SK	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Fördertechnik	Anteil Invest für Fördertechnik am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Fördertechnik / Anlageninvest gesamt SK	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Invest Spanntechnik	Anteil Invest für Vorrichtungen am Gesamtinvest	-39 grob; -33 fein > -18	Invest Spanntechnik / Anlageninvest gesamt SK	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
		Flächenkosten reduzieren	Kosten für Fläche	-39 grob; -33 fein > -18	Fläche(SK); kalk. Miete; ND; #Kfz (ND)	process designer; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Vorgängerprojekt
Interne (Prozess-) Perspektive		Variable Kosten reduzieren						
		Personalkosten reduzieren	Kosten für Personal	-39 grob; -33 fein > -18	Kosten F-Zeit (Einlegen, Anlage führen, TPM) > #AP (EL;AF); bezahlte AZ (pro d&AP) ; d (Fabriköffnungstage); AAS-Faktor; ST Satz (Fertigung); #Kfz (ND) ; Anlageninvest für einzelnen SK & ΣAnlageninvest aller SK			
		sonstige Kosten reduzieren	Anteil sonstiger Kosten an den Herstellkosten	-33 > -18 fein	sonstige Kosten > <b>Kosten für Wartung und Instandhaltung der</b> - Fügeverfahren - Roboter - Roboter- Greifer - Vorrichtungen (Spanner) - Fördertechnik - Einlegefenster <b>Kosten für Qualität</b> - Festigkeitsprüfung - Maßhaltigkeitsprüfung - Oberflächenprüfung	Über Referenzwerte den Kostentreibern zugerechnet (z.B. Inst. pro Roboter)		
	Zeit	DLZ reduzieren						
		DLZ gesamt reduzieren	DLZ gesamt	-33 > -18	DLZ gesamt	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
		Wertschöpfungsanteil erhöhen	DLZ- Effizienz	-33 > -18	Hauptzeit pro SK; Zykluszeit pro SK	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking
	Effizienz	Effizienz steigern						
		Komponentenauslastung erhöhen	Durchschnittl. Auslastungsgrad der Roboter	-33 > -18	#Punkte pro Takt; Fügezeit pro Pkt; Taktzeit; #Roboter			
		Ausbringungsmenge erhöhen	Ausbringungsmenge	-39	#SGR	-39	Vertrieb/AZ-System	Produktergebnisrechnung (Hard fact)
	Qualität	Prozessqualität erhöhen						
Lern- und Entwicklungsperspektive		GAE erhöhen	GAE (technische Verfügbarkeit)	-33 > -27	GAE (technische Verfügbarkeit)	eM plant; -33	Vorgabe Planung	Vorgängerprojekt + Erfahrungswerte
	Flexibilität	Flexibilität erhöhen						
	Mitarbeiter							
	Produktbeeinflusst	Produktbeeinflussung stärken						
		Verbindungstechnik reduzieren	# normierter Verbindungsäquivalente	-33 > -27	# normierter Verbindungsäquivalente/SK	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Technologiemix reduzieren	# verwendeter Fügetechnologien	-33 > -27	# verwendeter Fügetechnologien	CAD; -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Prozesssicherheit eingesetzter Fügetechnik	Anteil "fähiger" Fügetechnologien	-33 > -27		Technologieentwicklung (kein System); -33	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Produktkomplexität reduzieren						
Standardisierung		Teileanzahl reduzieren	Anzahl der Einzelteile	-39 > -27	# Einzelteile	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
		Variantenanzahl reduzieren	absolute Variantenvielfalt	-39 > -27	#Varianten absolut	Stückliste; -39	Vorgabe Projekt/Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse
	Prozessstandards							
		Komponentenstandards	Anteil standardisierter Komponenten	-39 > -33	Anteil standardisierter Komponenten	process designer; -39	Vorgabe Planung	Benchmarking + Wettbewerbsanalyse

## Anlage 9: Berechnung der durchschnittlichen Leistungserfüllung der SEF

- Bei Leistungsgrößen (Maximierung):

$$ZE_{Leistung} = \frac{Y_{V'Ist}}{Y_{Soll}} \times 100 \quad (1)$$

$ZE_{Leistung}$  Zielerfüllung einer Leistungsgröße in %

$Y_{V'Ist}$  Voraussichtlicher Istwert

$Y_{Soll}$  Sollwert;

- Bei Lastgrößen (Minimierung):

$$ZE_{Last} = \left( 2 - \frac{Y_{V'Ist}}{Y_{Soll}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$ZE_{Last}$  Zielerfüllung einer Lastgröße in %

- Berechnung der durchschnittlichen Leistungserfüllung eines SEF:

$$\emptyset LE_{SEF} = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{Y_{V'Ist,i}}{Y_{Soll,i}} \times 100 \right) + \sum_{j=1}^k \left( 2 - \frac{Y_{V'Ist,j}}{Y_{Soll,j}} \times 100 \right)}{(n_i + k_j)} \quad (3)$$

Unter den Bedingungen:

$$(n_i + k_j) > 0;$$

$$Y_{Soll,j}; Y_{Soll,i} > 0$$

$\emptyset LE_{SEF}$  durchschnittliche Leistungserfüllung des SEF

$n_i$  Anzahl zu maximierender Einzelkennzahlen

$Y_{V'Ist,i}$  Voraussichtlicher Istwert der zu reduzierenden Einzelkennzahl

$Y_{Soll,i}$  Sollwert der zu reduzierenden Einzelkennzahl

$k_j$  Anzahl zu minimierender Einzelkennzahlen

$Y_{V'Ist,j}$  Voraussichtlicher Istwert der zu maximierenden Einzelkennzahl

$Y_{Soll,j}$  Sollwert der zu maximierenden Einzelkennzahl

## Anlage 10: Kostenbibliothek und Kennzahlenberechnung im Simulator

<b>Kosten Elektrik:</b>	
<b>Roboter:</b>	
Parameter Leistung Roboter [kWh/Fzg.]:	Nennleistung Roboter x durchschnittl. Leistungsgrad x 24 Std. x Fabriköffnungstage x Anlagenlaufzeit / 0,078973 (Fahrzeuge pro Anlagenzyklus)
<b>WSP:</b>	
Parameter Kühlung Zange (WSP) [kWh/Fzg. u. Zange]:	0,039487 Kühlleistung pro Zange x Fabriköffnungstage x 24 Std. x Anlagenlaufzeit / (Fzg. pro Anlagenzyklus)
Parameter Leerlauf (WSP) [kVA]:	0,002778 (Trafo - Schweißstrom x Sekundärspannung) / 3600 ((Stromanstieg/2) s + (Schweißstromzeit-Stromanstieg) s) x Schweißstrom x Sekundärspannung / 3600 + (Vorhaltezeit + Schweißstromzeit + Nachhaltezeit + Zange Schließ- und Öffnungszeit) x Zangenantrieb Nennleistung / 3600 + Zangenausgleichszeit x Zangenausgleich: Nennleistung / 3600 + Fräserantrieb: Nennleistung / 3600
Parameter Elektrik (WSP):	0,004525 Nennleistung x Einschaltzeit Fräser / (3600 x 100)
Schweißstromzeit [s.]:	0,260000
<b>Laser:</b>	
Parameter Schweißen (Laser):	(Kühl-Leistung Schweißen x Schweißzeit pro mm x (Nennleistung Kältemaschine pro kW + Nennleistung Kühlturm pro kW + Nennleistung Pumpen pro kW)) / 3600 + (Nennleistung Laser-Betrieb x Schweißzeit pro 0,001405 mm) / 3600
Parameter Leerlauf (Laser):	Kühlleistung Leerlauf x (Nennleistung Kältemaschine pro kW + Nennleistung Kühlturm pro kW + 0,001542 Nennleistung Pumpen pro kW) / 3600 + Nennleistung Laser Standby / 3600
<b>Kleben:</b>	
Parameter Kleben:	(Hydraulikaggregatleistung + Heizungsleistung Klebeanlage x Einschaltzeit Heizung) x 24 Std. x 0,196644 Fabriköffnungstage x Anlagenlaufzeit / Fzg. pro Anlagenzyklus
<b>MIG/MAG-Löten:</b>	
Parameter MIG-Betrieb:	0,000060 (Nennleistung MIG-Betrieb x Schweißzeit pro mm) / 3600
Parameter MIG-Standby:	0,000431 Nennleistung MIG-Standby / 3600
<b>Kosten Druckluft:</b>	
<b>Roboter - Greifer:</b>	
Parameter Verbrauch Druckluft Roboter-Greifer:	0,002400 Anzahl Vorgänge x (Greiferverbrauch Schließen + Greiferverbrauch Öffnen) x (1 + Leckageverlust/100) / 100
<b>Vorrichtungen - Spanner:</b>	
Parameter Verbrauch Druckluft Spanner:	0,002400 Anzahl Vorgänge x (Spannerverbrauch Schließen + Spannerverbrauch Öffnen) x (1 + Leckageverlust/100) / 100
<b>WSP:</b>	
Parameter Ausblasen Druckluft (WSP):	0,000040 Luftverbrauch Ausblasen x Ausblaszeit Fräser / (1000 x 100)
<b>Laser:</b>	
Parameter Ausblasen Druckluft (Laser):	0,000102 (Luftverbrauch Crossjet x Schweißzeit pro mm) / 3600
<b>Kleben:</b>	
Parameter Fußpumpe Druckluft (Kleben):	0,001760 Volumen pro Hub x 0,002 x Hubanteil pro mm Kleber
<b>Kosten Gas:</b>	
<b>Laser:</b>	
Parameter Gasverbrauch (Laser):	0,000006 (Gasverbrauch Corgon x Schweißzeit pro mm) / (1000 x 60)
<b>MIG/MAG-Löten:</b>	
Parameter Gasverbrauch (MIG):	0,000027 Gasverbrauch Argon x Schweißzeit pro mm x (1 + Vorström-/Nachströmzeit) / (1000 x 60)
<b>Kosten Material:</b>	
<b>Kleben:</b>	
Materialkosten Kleber [€/mm]:	0,000090
<b>MIG/MAG-Löten:</b>	
Parameter Zusatzdraht:	0,010650 (Zusatzdraht x Schweißzeit pro mm) / 60
<b>Kosten Kühlwasser:</b>	
<b>WSP:</b>	
Konstante Zangenkühlung Kühlwasser (WSP):	0,009477 (Kühlwasserdurchfluss x 60 min x 24 Std. x Fabriköffnungstage x Anlagenlaufzeit) / (Fzg. pro Anlagenzyklus x

<b>Kosteninformationen Allgemeine Daten</b>	
kalk. Zinssatz [%]:	9%
auf durchschnittlich gebundenes Kapital:	0,5
<b>Investinformationen</b>	
<b>Invest Roboter:</b>	
Roboter klein [€]:	75000
Roboter mittel [€]:	95000
Roboter groß [€]:	115000
<b>Invest Fügetechnik:</b>	
stat. Schweißzange [€]:	22500
mobile Schweißzange [€]:	29500
Kappenfräser [€]:	17500
Laserkopf [€]:	85000
stat. Klebepistole [€]:	28500
Buckelwerkzeug [€]:	12500
Buckelschweißmaschine [€]:	27500
Nietvorrichtung [€]:	35000
Laserquelle [€]:	250000
<b>Invest Messtechnik:</b>	
Inline-Messanlage [€]:	45000
<b>Invest Fördertechnik:</b>	
Transportband [€]:	58500
Magazinband [€]:	47500
Stauförderer [€]:	85000
<b>Invest Vorrichtungen:</b>	
GEO klein [€]:	
GEO mittel [€]:	
GEO groß [€]:	
Spanner [€]:	25000
Roboter Greifer [€]:	32500
Bauteilablage [€]:	27500
Ritzeinheit [€]:	33500
Einlegestation (4 Einlegeteile) [€]:	33500
<b>Invest Einlegefenster / Hubtore:</b>	
Hubtor/Einlegefenster [€]:	22500
<b>Kosteninformationen Fläche</b>	
kalk. Miete [€/m²/Monat]:	5
<b>Kosteninformationen Personal</b>	
Fertigungsstundensatz: [€/h]:	44
Fertigungsstundensatz: [€/min]:	0,73
<b>Kosteninformationen Wartung/Instandhaltung</b>	
Wartungs- und Verschleißkosten für 1 Zange und 1 Kappenfräser (WSP) [€/a]:	2.875,00
Wartungs- und Verschleißkosten für einen 4 kW Laser [€/a]:	56.262,00
Wartungs- und Verschleißkosten für 1 Zange, 1 Kappenfräser und 1 Klebeanlage (WSPK)	11.625,00
Wartungs- und Verschleißkosten für 1 Klebeanlage [€/a]:	8.750,00
Wartungs- und Verschleißkosten für 1 MIG / MAG Gerät inkl. Drahtförderer [€/a]:	5.696,45
Wartungs- und Verschleißkosten für 1 Spanner [€/a]:	61,17
Wartungs-/Reparaturaufwand für 1 Förderband [€/a]:	550,00
Wartungs-/Reparaturaufwand für 1 Einlegefenster bzw. Hubtor [€/a]:	338,82
Wartungs-/Reparaturaufwand für 1 Roboter [€/a]:	417,33
Wartungs-/Reparaturaufwand für 1 Roboter-Greifer [MT]:	
Arbeitsaufwand im Bereich "Längsträger hinten links" (pro Tag)	0,1
Arbeitsaufwand im Bereich "Längsträger hinten rechts" (pro Tag)	0,1
Arbeitsaufwand im Bereich "Boden hinten" (pro Tag)	0,2
Arbeitsaufwand im Bereich "Boden hinten vollständig" (pro Tag)	0,3
<b>Kosteninformationen Medien</b>	
Grundpreis Strom 1 kWh [€]:	0,07
Grundpreis 6 bar Druckluft 1m³ [€]:	0,02
Grundpreis Kühlwasser 1 m³ [€]:	0,15
Grundpreis Gas (Laser) 1 m³ [€]:	0,59
Gas Argon (MIG Löten) 1 m³ [€]:	1,05
Zusatzdraht (MIG Löten) 1 m [€]:	0,02
Materialkosten AMV 167 W30 [€/m]:	0,09

## Anlage 11: Eingangsdaten eines PE zur Kennzahlenberechnung im Simulator

Produkt	Prozess	Ressource
<b>Quantität:</b>	<b>Fügeverfahren:</b>	<b>Fläche:</b>
Ausbringungsmenge [SGR/d]: 608	Fügeverbindungen:	Gesamtfläche [m²]: 2430,981
Ausbringungsmenge [SGR/a]: 145.901	WSP [Pkt.]: 610	Hauptfläche [m²]: 1424,75
Ausbringungsmenge [SGR/ND]: 1.021.306	VÄ WSP [#VÄ]: 610	<b>Arbeitszeitmodell:</b>
Anzahl Einlegeteile: 87	Laser [mm]: 3058	Anzahl Schichten: 3
Anzahl Kaufteile:	VÄ Laser [#VÄ]: 122	Anzahl Werker: 6
Anzahl Einlegeteile (GLT):	MIG [mm]: 370	Anzahl Anlagenführer: 1
Anzahl Einlegeteile (KLT):	VÄ MIG [#VÄ]: 37	AAS-Faktor: 1,275
<b>Flexibilität:</b>	Kleben [mm]: 616	Fabriköffnungstage [d/a]: 240
Anzahl Derivate: 2	VÄ Kleben [#VÄ]: 15	bezahlte Arbeitszeit pro Tag und AP [h]: 22
<b>Produktkomplexität:</b>	Bolzenschweißen [Pkt.]: 6	Anlagenlaufzeit (ND) [a]: 7
Anzahl der Einzelteile:	Buckeln [s]: 29,5	Einschaltdauer pro Tag [min.]: 1192
Anzahl Varianten: 3	Nieten [s]:	<b>Roboter:</b>
<b>Produktstandards:</b>	Ritzen [s]: 6	Anzahl Roboter klein: 15
Anzahl standardisierter Fügetechnologien: 7	#VÄ gesamt: 785	Anzahl Roboter mittel: 10
Anzahl Fügetechnologien gesamt: 7	Anzahl fähiger Fügetechnologien: 6	Anzahl Roboter groß: 15
Anzahl GEO mit standardisierter Folgefolge: 12	Fügezeit + Punkte pro Takt: 4	Anzahl Roboter gesamt: 40
Anzahl GEO gesamt: 12	GEO [s/Pkt.]: 3	<b>Fügetechnik:</b>
Anzahl standardisierter Baugruppen:	AUS [s/Pkt.]:	Anzahl stat. Schweißzangen: 21
Anzahl Baugruppen gesamt:	Punkte pro Takt GEO:	Anzahl mobiler Schweißzangen: 13
Anzahl Bauteile: 87	Punkte pro Takt AUS:	Anzahl Kappenfräser: 7
Anzahl COP-Teile: 87	<b>Zeit:</b>	Anzahl Laserköpfe: 2
<b>Werkstoffmix:</b>	DLZ gesamt [s/Fzg.]: 5436	Anzahl stat. Klebepistolen: 1
Gewicht NE-Metalle [kg]: 12,35	Hauptzeit (Werkzeug im Eingriff) [s/Fzg.]: 1949,90	Anzahl Buckelwerkzeuge: 1
Gesamtgewicht [kg]: 65	Nebenzeit (Werkzeug nicht im Eingriff) [s/Fzg.]: 3550,1	Anzahl Buckelschweißmaschine: 6
	Zykluszeit [s]: 10396	Anzahl Nietvorrichtungen: 1
	Taktzeit [s]: 100	<b>WSP:</b>
	Anzahl Takte: 55	Anzahl Schweißzangen, Kappenfräser: 41
	Anzahl Pufferplätze: 106	Anzahl Roboter WSP: 32
	<b>Qualität:</b>	<b>Laser:</b>
	Bemusterungsnote:	Anzahl Laser: 2
	Funktionsmaße gesamt:	Schweißzeit [s/mm]: 0,0184
	Funktionsmaße rot:	Anzahl Laserquellen: 1
	GAE (aus Simulation): 0,85	<b>Kleben:</b>
	<b>Prozessstandards:</b>	Anzahl Klebeanlagen: 1
	Anzahl Komponenten gesamt: 355	<b>MIG / MAG:</b>
	Anzahl Komponenten standardisiert: 355	Anzahl MIG / MAG-Geräte: 2
		Schweißzeit [s/mm]: 0,09
		<b>Vorrichtung - Spanner:</b>
		Anzahl Spanner (Vorrichtung): 128
		<b>Roboter - Greifer:</b>
		Anzahl Roboter-Greifer: 37
		<b>Sonstige Vorrichtungen:</b>
		Anzahl Bolzenschweißgeräte: 1
		Anzahl Nietstationen: 1
		Anzahl Ritzeinheiten: 3
		Anzahl Einlegefenster / Hubtore: 11
		Anzahl Bauteilablagen: 21
		Anzahl Einlegebänder (4 Teile): 2
		<b>Messtechnik:</b>
		Anzahl Inline Messanlagen: 3
		<b>Fördertechnik:</b>
		Anzahl Transportbänder: 7
		Anzahl Magazinbänder: 1
		Anzahl Stauförderer: 2
		<b>GEO-Geometriestation:</b>
		Anzahl Geo klein: 5
		Anzahl Geo mittel: 6
		Anzahl Geo groß: 1
		Gewichtung Geo klein: 0,7
		Gewichtung Geo mittel: 1
		Gewichtung Geo groß: 1,3
		Anzahl Geo gewichtet: 10,8
		<b>F-Zeit:</b>
		F-Zeit Einlegen / Fügen [min/Fzg.]: 10,0000
		F-Zeit Anlage führen [min/Fzg.]: 1,6667
		F-Zeit für zerstörungsfreie Prüfung [min/Fzg.]: 1,0480
		F-Zeit für zerstörende Prüfung [min/Fzg.]: 0,4961
		F-Zeit für TPM [min/Fzg.]: 2,7928
		Verrichtungszeit Werker [min/Fzg.]: 6,8900
		Taktgleichszeit [min/Fzg.]: 3,1100
		F-Zeit für Transport und Handling der Einlegeteile (KT) [min/Fzg.]:
		F-Zeit für Transport und Handling der Einlegeteile (GLT) [min/Fzg.]:
		F-Zeit für Transport und Handling der Einlegeteile (KLT) [min/Fzg.]:
		<b>Personalaufwand/-einsatz Maßhaltigkeit</b>
		Produkttechnik [MT]: 1,6
		Inline [MT]: 0,1

## 6 Literatur

Bücher, Zeitschriften, Hochschulschriften

- [Abol05] Abolhassan, F.; Beck, T. (2005): Performance Measurement als Voraussetzung für Business Process Excellence. In: Baumöl, U.; Österle, H.; Winter, R. (Hrsg.): Business Engineering in der Praxis. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2005, S.362-377
- [Ahlr06] Ahlrichs, F.; Knuppertz, T. (2006): Controlling von Geschäftsprozessen. Prozessorientierte Unternehmenssteuerung umsetzen. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2006
- [Baie02] Baier, J. (2002): Ein Beitrag zur simulationsgestützten Kostenanalyse auf Prozesskosten-Basis in der Nutzfahrzeugproduktion. Aachen: Shaker Verlag, 2002
- [Bell06] Bell, H. [2006]: Towards the digital car factory. Example with the Body-in-white Department. 2. Euroforum-Konferenz: Digitale Fabrik integriertes Produkt und Prozessengineering. 28-29.03.2006, Wolfsburg
- [Bern97] Bernemann, S. (1997): Modellierungswerkzeuge. In: Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Erfolgsfaktor Logistikqualität. Berlin: Springer Verlag, 1997, S. 83-106
- [Bier04] Bierwirth, T. (2004): Virtuelle Logistikplanung für die Automobilindustrie: Methoden und Modelle im Rahmen der Digitalen Fabrik. Aachen: Shaker Verlag, 2004
- [Boer99] De Boer, E. (1999): Methoden- und objektbezogene Integration der Konzipierung von Nischenprodukten. Dresden, Technische Universität, Dissertation, 1999
- [Brac06] Bracht, U. (2006): Die Digitale Fabrik – Umsetzungsstand und neue Anwendungsbereiche. 2. Euroforum-Konferenz: Digitale Fabrik integriertes Produkt- und Prozessengineering. 28-29.03.2006, Wolfsburg
- [Brow97] Brown, M. G. (1997): Kennzahlen: Harte und weiche Faktoren erkennen, messen und bewerten – Aus dem Amerikanischen übersetzt von R. Leonhardt. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1997.
- [Bull98] Bullinger, H.-J.; Heger, R.; Menrad, W.: Advanced Assembly and Disassembly Planning using Virtual Techniques. In: Intelligent Assembly and Disassembly, Bled, 21.-23. Mai 1998 / Kopacek, P; Noe, D. (Hrsg.). Bled: IFAC, 1998, S.11-16.
- [Burg99] Burger, A. (1999): Kostenmanagement, 3. vollständig überarbeitete Auflage, München: R. Oldenbourg Verlag, 1999
- [Burg06] Burghardt, M. (2006): Projektmanagement. Leitfaden für die Planung, Überwachung und Steuerung von Projekten, 7., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage, Erlangen: Publicis Corporate Publishing Verlag, 2006
- [Carl07] Carl, S. (2007): Analyse und Bewertung von Prozessketten für den Automobil-Karosseriebau unter besonderer Berücksichtigung des Planungsprozess-Workflows Dresden, Technische Universität, Institut für Maschinenwesen, Diplomarbeit, 2007

- [Coen03] Coenenberg, A. G. (2003): Kostenrechnung und Kostenanalyse. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Schäffer- Poeschel, 2003
- [Cron94] Cronjäger, L. (1994): Bausteine für die Fabrik der Zukunft. Eine Einführung in die rechnerintegrierte Produktion (CIM), 2. Auflage. Berlin: Springer – Verlag, 1994
- [Dang00] Dangelmaier, W. (2000): Wirtschaftlichkeit durch Reagibilität. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 7/8-2000, S. 345-350
- [Dang01] Dangelmaier, W. (2001): Fertigungsplanung: Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 2001
- [Dank95] Dankert, U. (1995): Planung des Designs flexibler Fertigungssysteme. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1995
- [Delf97] Delfmann, W. (1997): Analyse und Gestaltung integrierter Logistiksysteme auf der Basis von Prozessmodellierung und Simulation. In: Geschäftsprozessorganisation. Wildemann H. (Hrsg.). München: TCW Transfer- Centrum, 1997
- [Domb02] Dombrowski, U.; Horatzek, S.; Bothe, T. (2002): Erfolgreiche Prozessmodellierung: Strukturiertes Vorgehen erleichtert das Erstellen von Prozessmodellen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 11-2002, S. 584-587
- [Frie99] Friedag, H. R.; Schmidt, W. (1999): Balanced Scorecard: Mehr als ein Kennzahlensystem. Freiburg i. Br., Berlin: Haufe, 1999
- [Füss03] Füssel, U. (2003): Fertigungstechnik I: Fügetechnik. Dresden: Technische Universität, Vorlesungsskript, 2003
- [Gais04] Gaiser, Fink, Greiner (2004): Balanced Scorecard umsetzen / Hrsg.: Horváth & Partners. 3., vollständig überarbeitete Auflage. – Stuttgart: Schäffer- Poeschel, 2004
- [Glad05] Gladen, W. (2005): Performance Measurement: Controlling mit Kennzahlen. 3. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlag/GWV Fachverlage GmbH, 2005
- [Glei97] Gleich, R. (1997): Stichwort: Performance Measurement. In: Die Betriebswirtschaft. Stuttgart 57 (1997) 1. – S. 114-117
- [Glei99] Gleich, R.; Schimpf, T. (1999): Prozessorientiertes Performance Measurement. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 7/8-1999, S. 414-419
- [Glei00] Gleich, R. (2000): Prozessorientiertes Performance Measurement: Umsetzungserfahrungen in der produzierenden Industrie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 5-2000, S. 239-244
- [Glei01] Gleich, R. (2001): Das System des Performance Measurement: Theoretisches Grundkonzept, Entwicklungs- und Anwendungsstand. München: Vahlen, 2001
- [Gome99] Gomez, P.; Probst, G. (1999): Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens: vernetzt denken, unternehmerisch handeln, persönlich – 3., unveränderte Auflage. Bern, Stuttgart: Haupt, 1999



- [Grot92] Groth, U. (1992): Kennzahlensystem zur Beurteilung und Analyse der Leistungsfähigkeit einer Fertigung: Einsatz von personellen, organisatorischen und technischen Kennzahlen. Düsseldorf: VDI, 1992. – 248 S. – (Fortschritt- Berichte VDI; Reihe 16 Nr. 61)
- [Grün01] Grüner, A. (2001): Scorecardbasiertes Cockpit Controlling. Konzeption und Umsetzung in der Einzelfertigung. 1. Auflage, Wiesbaden: Dt. Univ.-Verlag, Wiesbaden: Gabler Verlag, 2001
- [Grun06] Grundig, C.-G. (2006): Fabrikplanung: Planungssystematik, Methoden, Anwendungen., 2., aktualisierte Auflage, München; Wien: Carl Hanser Verlag, 2006, S.22ff.
- [Günt06] Günther, S. (2006): Analyse und Bewertung von Prozessketten für den Automobil-Karosseriebau unter besonderer Berücksichtigung von Messkriterien und Kennzahlen. Dresden, Technische Universität, Institut für Maschinenwesen, Diplomarbeit, 2006
- [Habe98] Haberstock, L. (1998): Kostenrechnung I – Einführung. 10. unveränderte Auflage, Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1998
- [Hall99] Haller, M. (1999): Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion. München: Herbert Utz Verlag, 1999
- [Hans05] Hansen, H. R.; Neumann, G. (2005): Wirtschaftsinformatik 1: Grundlagen und Anwendungen. 9. Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius, 2005
- [Harr73] Harrington, (1974): Computer Integrated Manufacturing. 1974
- [Heri02] Hering, E.; Rieg, R. (2002): Prozessorientiertes Controlling-Management. Reihe Management Praxis, 2., verbesserte Auflage, München; Wien: Carl Hanser Verlag, 2002, S.137-160
- [Herm96] Hermann, U. (1996): Wertorientiertes Ressourcenmanagement: Neuausrichtung der Kostenrechnung aus ressourcenbasierter Sicht. Wiesbaden: Gabler Verlag, Deutscher Universitätsverlag, 1996
- [Horv96] Horváth, P. u.a.(1996): Produktcontrolling. In: Produktion und Management „Betriebshütte“, Teil 1. Hrsg.: Walter Eversheim; Günther Schuh. 7., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer, 1996. – S. 8/1-8/69
- [Ishi01] Ishiwata, J. (2001): Die Flexible Fabrik. Layout-Planung mit Prozess-Analyse. Landsberg / Lech: Verlag moderne Industrie, 2001
- [Jank05] Jankulik, E.; Kuhlang, P./Piff, R. (2005): Projektmanagement und Prozessmessung. Die Balanced Scorecard im projektorientierten Unternehmen. Erlangen: Publicis Corporate Publishing, 2005
- [Joss05] Jossé, G. (2005): Balanced Scorecard: Ziele und Strategien messbar umsetzen. München: Beck, 2005

- [Kais90] Kaiser, K. (1990): Kosten- und Leistungsrechnung bei automatisierter Produktion. Wiesbaden: Gabler Verlag, 1990
- [Kalu06] Kalusche, M. (2006): Methoden, Datenmodell und Schnittstellengestaltung in der Fabrikplanung für ein integriertes Planungssystem im Einsatz bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU). Dresden, Technische Universität, Dissertation, 2006
- [Kapl92] Kaplan, R. S.; Norton, D. P. (1992): The Balanced Scorecard: Measures that drive performance. In: Harvard Business Review. Boston (1992) 1/2. – S. 71-79
- [Kapl97] Kaplan, R. S.; Norton, D. P. (1997): Balanced Scorecard: Strategien erfolgreich umsetzen, aus dem Amerikanischen übersetzt von Horváth, P. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1997
- [Kara01] Karagiannis, D.; Kühn, H. (2001): Modellierung und Simulation von Geschäftsprozessen. In: wisu – das Wirtschaftsstudium, 8/9-2001, S. 1161-1170
- [Kett95] Ketterer, N. (1995): Beschreibung von Datenaustauschen eines verteilten Fertigungssystems. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 1995
- [Kett84] Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R. (1984): Leitfaden der systematischen Fabrikplanung. München, Wien: Hanser, 1984
- [Klau02] Klauke, S. (2002): Methoden und Datenmodell der „Offenen Virtuellen Fabrik“ zur Optimierung simultaner Produktionsprozesse. Düsseldorf, VDI – Verlag 2002
- [Klin01a] Klingebiel, N. (2001): Entwicklungslinien und Aussageerwartungen an Performance Measurement – Systeme. In: Performance Measurement & Balanced Scorecard / Hrsg. : Klingebiel, N. München: Vahlen, 2001
- [Klin01b] Klingebiel, N. (2001): Impulsgeber des Performance Measurement. In: Performance Measurement & Balanced Scorecard / Hrsg. : Klingebiel, N. München: Vahlen, 2001
- [Koch99] Koch, R (1999): Integrierte Produktionstechnik. Modularität, Mehrfunktionalität, Mobilität. Dresdner Produktionstechnik Kolloquium. Vorsprung durch Wissen und Technik. Dresden, 1999
- [Köni04] König, H.; Müller, M. (2004): 100 Jahre Automobilbau Chemnitz – Zwickau. Tradition und Innovation im Karosseriebau der AUDI AG. 21. - 23. September 2004 im Congress Center Dresden.
- [Köni05] König, H.; Richter, A. (2005): Mit welchen Führungsgrößen definiert sich ein zukunftsorientierter Karosseriebau? In: Exposeesammlung der 28. Fachtagung Prozesskette Karosseriebau. Prag, 2005
- [Köni06] König, H.; Richter, A. (2006): Trends und Herausforderungen im Karosseriebau. 30. Fachtagung Prozesskette Karosseriebau. Leipzig, 2006
- [Kola05] Kolakowski, M./Reh, D./Sallaba, G. (2005): Erweiterte Wirtschaftlichkeitsrechnung (EWR): Ganzheitliche Bewertung von Varianten und Ergebnissen in der Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online, 4-2005, S. 210-215

- [Korl06] Korluß, D. (2006): Analyse und Bewertung von Prozessketten für den Automobil-Karosseriebau unter besonderer Berücksichtigung der Stückzahlflexibilität. Dresden, Technische Universität, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2006.
- [Küpp04] Küpper, H.-U.; Helber, S. (2004): Ablauforganisation in Produktion und Logistik. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 2004
- [Küpp05] Küpper, H. U. (2005): Controlling: Konzeption, Aufgaben, Instrumente. 4., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Schäffer – Poeschel, 2005
- [Kump01] Kumpf, A. (2001): Balanced Scorecard in der Praxis: In 80 Tagen zur erfolgreichen Umsetzung. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, 2001
- [Lasc98] Lasch, R. (1998): Marktorientierte Gestaltung von Logistikprozessen. Wiesbaden: Gabler, Deutscher Universitäts – Verlag, 1998
- [Lay01] Lay, G.; Schirrmeister, E.; Wiendahl, H.-P.; Röhrig, M. (2001): Zurück zu neuen Ufern: Rücknahme des Automatisierungsniveaus in deutschen Unternehmen. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 7/8-2001, S. 399-404
- [Like04] Liker, J. K. (2004): The Toyota Way: 14 Management Principles from the world's greatest Manufacturer. New York: McGraw-Hill, 2004
- [Lind05] Lindemann, U. (2005): Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, 2005
- [Lind06] Lindemann, U. (2006): Isolierung versus Vernetzung – Wie arbeitet eine Branche zusammen? Eine Studie zur digitalen Fabrik in der Automobilindustrie. 3. Fachkongress digitale Fabrik. 23-24.05.2006, Ludwigsburg
- [Mala05] Malagimani, M. (2005): Virtueller Karosseriebau. Audi-interne Präsentation Ingolstadt, 2005
- [Mala06] Malagimani, M. (2006): Virtual Body-shop Planning at Audi. PLM Europe Conference. Frankfurt, 2006.
- [Matz04] Matzler, K. u.a. (2004): Die wichtigsten Management- Konzepte und -methoden: Die Sicht der Unternehmensberater. In: Zeitschrift für Controlling und Management. Wiesbaden, 48-2004
- [Mcki05] McKinsey and Company (2005): Tomorrow's Automotive Production. Results of a study on trends, developments and strategies in car manufacturing. Aachen, 2005
- [Mend02] Menden, B.; Schönemann, Y. (2002): Licht in der Black Box: Kennzahlensysteme als Fundament einer wertschöpfenden prozessorientierten Unternehmenssteuerung. In: Detecon Management Report, 1-2002, S. 14-16
- [Meye06] Meyer, C. (2006): Betriebswirtschaftliche Kennzahlen und Kennzahlen- Systeme. 3., überarbeitete und erweiterte Auflage. Sternenfels: Wissenschaft & Praxis, 2006

- [Mürd99] Mürdtner, A.; Hamann, M.; Baier, D. (1999): Arbeitszeitflexibilisierung als Lösungsansatz bei Beschäftigungsschwankungen. In: Gutmann, J. (Hrsg.): Arbeitszeitmodelle – Die neue Zeit der Arbeit: Erfahrungen mit Konzepten der Flexibilisierung. Stuttgart: Schäffer-Poeschl, 1999, S. 107-124
- [Murr99] Murr, O. (1999): Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Forschungsberichte iwv Band 130, München: Herbert Utz Verlag, 1999
- [Niem04] Niemann, J./Westkämper, E. (2004): Investitionskosten versus Betriebskosten: Nicht Preisschild sondern Lebenslaufkosten entscheiden über den Produktnutzen. In: wt Werkstattstechnik online, 3-2004, S. 43-47
- [Niem06] Niemann, J.; Westkämper, E. (2006): Life Cycle Controlling von Produktionssystemen. In: wt Werkstattstechnik online, 7/8-2006, S.460-466
- [Nieß93] Nieß, P.S. (1993): Flexible Fertigungssysteme. In: Kern, W. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. Band VIII der Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre, Stuttgart: Poeschl, 1990, S. 595-604
- [Nive03] Niven, P. R. (2003). Balanced Scorecard – Schritt für Schritt: Einführung, Anpassung und Aktualisierung. Weinheim: Wiley-VCH, 2003
- [Nyhu06] Nyhuis, P. (2006): Zukunft möglich machen. In: wt Werkstattstechnik online, 4-2006, S.143
- [Osso03] Ossola-Haring, C. (2003): Das große Handbuch Kennzahlen zur Unternehmensführung: Kennzahlen richtig verstehen, verknüpfen und interpretieren. 2., überarbeitete Auflage.Landsberg/Lech: Moderne Industrie, 2003. – 631 S.
- [Ost93] Ost, S. (1993): Entwicklung eines Verfahrens zur differenzierten Flexibilitätsanalyse und –bewertung. Hamburg-Harburg, Technische Universität, Dissertation, 1993
- [Pfoh91] Pfohl, H.-C.; Stölzle, W. (1991): Anwendungsbedingungen, Verfahren und Beurteilung der Prozeßkostenrechnung in industriellen Unternehmen. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 11-1991, S. 1281-1305
- [Piet02] Pietsch, D (2002): Das neuen Vertriebs- und Produktionssystem der BMW-Group. Kundenorientierter Vertriebs- und Produktionsprozess (KOV). In ZfAW, München, 1996.
- [Plüm00] Plümer, O. (2000): Methodik zur Verbesserung der Bereitstellung von gestalt- und funktionsbezogenen Informationen für den Produktentwicklungsprozess. Düsseldorf: VDI Verlag, 2000
- [Prob91] Probst, G.; Gomez, P. (1991): Vernetztes Denken: ganzheitliches Führen in der Praxis – 2., erweiterte Auflage. Wiesbaden: Gabler, 1991
- [Reic06] Reichmann, T. (2006): Controlling mit Kennzahlen und Management – Tools: Die systemgestützte Controlling – Konzeption. 7., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Vahlen, 2003

- [Rein99] Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Hirschberg, A.; Selke, C. (1999): Reaktionsfähigkeit für Unternehmen: Eine Antwort auf turbulente Märkte. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 1/2-1999, S. 21-24
- [Rein00] Reinhart, G.; Grunwald, S. (2000): Einführung wandlungsfähiger Prozesse im Engineering. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 7/8-2000, S. 351-355
- [Reme05] Remer, D. (2005): Einführung der Prozesskostenrechnung: Grundlagen, Methodik, Einführung und Anwendung der verursachungsgerechten Gemeinkostenzurechnung. 2. Auflage, Stuttgart: Schäffer-Poeschl, 2005
- [Rock78] Rockstroh, W. (1978): Die **Technologische** Betriebsprojektierung. Berlin: Verl. Technik, 1978
- [Röhr02] Röhrig, M. (2002): Variantenbeherrschung mit hochflexiblen Produktionsendstufen. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002
- [Sand04] Sandt, J. (2004): Management mit Kennzahlen und Kennzahlensystemen: Bestandsaufnahme, Determinanten und Erfolgsauswirkungen. Vallendar, Wissenschaftliche Hochschule für Unternehmensführung (WHU), Diss., 2003
- [Sche90] Scheer, A.-W. (1990): Fertigungsplanung, Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung. 2.Auflage, Berlin: Springer-Verlag, 2001
- [Sche90] Scheer, A.-W.: CIM, Computer Integrated Manufacturing. Heidelberg: Springer – Verlag, 1990
- [Sche01] Schenk, M./Sallaba, G./Gröpke, S. (2001): Variantenbewertung in der Fabrikplanung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 4-2001, S. 171-177
- [Sche02] Scheer, A.-W. (2002): ARIS – Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. 4., durchgesehene Auflage – Berlin, Heidelberg: Springer, 2002
- [Sche05] Scheer, A.-W.; Jost, W.; Wagner, K. (2005): Next Generation Business Process Management. In: Von Prozessmodellen zu lauffähigen Anwendungen: ARIS in der Praxis. Scheer, A.-W.; Jost, W.; Wagner, K. (Hrsg.). Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. – S: 1-16
- [Schl05] Schlott, S. (2005): Digitale Fabrik, Jenseits von Zeit und Raum. In: Automation 03-2005, S. 90-92
- [Schm06] Schmelzer, H. J.; Sesselmann, W. (2006): Geschäftsprozessmanagement in der Praxis: Kunden zufrieden stellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen. 5., vollständig überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag, 2006
- [Schm01] Schmidt, B.C. (2001): Produktionssysteme ganzheitlich gestalten. In: phi – Produktions-technik Hannover informiert, 1-2001, S. 4-7
- [Schm03] Schmidt, K. (2003): Methodik zur integrierten Grobplanung von Abläufen und Strukturen mit digitalen Fabrikmodellen. Aachen, Technische Hochschule, Fakultät Maschinenwesen, Dissertation, 2003

- [Schm94] Schmitz, M. (1994): Flexibel automatisierte Fertigungssysteme: Bewertungsprobleme und Lösungsansätze. Wiesbaden: Gabler Verlag, Deutscher Universitätsverlag, 1994
- [Schn96] Schneeweiß, C; Steinbach, J. (1996): Zur Beurteilung der Prozesskostenrechnung als Planungsinstrument. In: Die Betriebswirtschaft, 4-1996, S. 459-473
- [Schö99] Schölling, W. (1999): Kundenorientierte Prozessorganisation: Nicht ausreichende Prozess-flexibilität kann teuer werden. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 1/2-1999, S. 38-41
- [Schu96] Schuh, G. u.a.(1996): Strategisches Produktionsmanagement. In: Produktion und Management „Betriebshütte“, Teil 1. Eversheim, W.; Schuh, G. (Hrsg.). 7., völlig neu bearbeitete Auflage. Berlin, Heidelberg u.a.: Springer, 1996. – S. 5/1-5/52
- [Schu97] Schuh, G. (1997): Virtuelle Fabrik: Beschleuniger des Strukturwandels?. In: Schuh, G./Wiendahl, H.-P.: Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Berlin: Springer Verlag, 1997, S. 293-308
- [Schu04a] Schuh, G./Gottschalk, S. (2004): Skalierbare Produktionslinien in der Automobilindustrie. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 7/8-2004, S. 376-380
- [Schu04b] Schuh, G.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004): Lebenszyklusbewertung flexibler Produktionssysteme - Kennzahlen und Verfahren für langfristig optimale Entscheidungen in einer dynamischen Umwelt. In: wt Werkstattstechnik online, 4-2004, S.116-121
- [Schu06a] Schuh, G. (2006): Production Management I – Process Planning. Vorlesungsskript WZL, RWTH Aachen, 2006
- [Schu06b] Schuh, G.; Gulden, A.; Gottschalk, S.; Kampker, A. (2006): Komplexitätswissenschaft in der Fabrikplanung. In: wt Werkstattstechnik online, 4-2006, S.167-170
- [Schw02] Schwankl, L. (2002): Analyse und Dokumentation in den frühen Phasen der Produktentwicklung. München, Technische Universität, Dissertation, 2002
- [Senf05] Senftl, R. (2005): Lösbare Verbindungen und deren Funktionselemente im Karosseriebau. Automotive Circle International Conference. Bad Nauheim, 8-9.03.2005
- [Seng97] Sengotta, M./Roesler, J./Schweres, M. (1997): Arbeitssystemcontrolling: Systemoptimierung von der Investitionsphase bis zur Stilllegung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 12-1997, S. 647-650
- [Spat00] Spath, D.; Dill, C.; Agostini, A.; Schulte, H. (2000): Der Durchlaufleistungsgrad – Ein neuer Ansatz zur Visualisierung des Zusammenhangs zwischen Kosten und Durchlaufzeit. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 4-2000, S. 146-151
- [Spur93] Spur, G./Mertins, K./Jochem, R. (1993): Integrierte Unternehmensmodellierung. Berlin: Beuth Verlag, 1993

- [Stau02] Stausberg, M. (2002): Prozessbezogene Kennzahlen: Die wichtigsten Kennzahlen von A-Z. Augsburg: Weka, 2002. – 136 S.
- [Steg01] Steger, J. (2001): Kosten- und Leistungsrechnung: Einführung in das betriebliche Rechnungswesen, Grundlagen der Vollkosten-, Teilkosten-, Plankosten- und Prozesskostenrechnung. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, München: R. Oldenbourg Verlag, 2001
- [Trip02] Trippner, D. (2002): Vorgehensmodell zum Management von Produktdaten in komplexen und dynamischen Produktentwicklungsprozessen. Karlsruhe, Universität, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation, Aachen: Shaker Verlag, 2002
- [Ulri79] Ulrich, P.; Hill, W. (1979): Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. In: Raffé, H. und Abel, B. (Hrsg.): Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Wirtschaftswissenschaften. München, 1979
- [Ulri01] Ulrich, H. (2001): Systemorientiertes Management – Das Werk von Hans Ulrich. Bern: Haupt Verlag, 2001
- [Vest80] Vester, F. (1980): Neuland des Denkens: vom technokratischen zum kybernetischen Zeitalter. München: DVA, 1980
- [Völk06] Völker, M. (2006): Fertigungsstättenplanung. Dresden, Technische Universität, Fakultät Maschinenwesen, Vorlesungsskript, 2006
- [Wagn06] Wagner, K. W. (2006): PQM – Prozessorientiertes Qualitätsmanagement: Leitfaden zur Umsetzung der ISO 9001:2000. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. München, Wien: Hanser, 2006.
- [Wang98] Wang, K. K. (1998): The basic research issues in computer-aided design and manufacturing processes. In: Sata, T. (Hrsg.): Organization of engineering knowledge for product modelling in computer integrated manufacturing: a collection of contributions based on lectures presented at the 2<sup>nd</sup> Toyota Conference, Aichi, Japan, 2-5 October. Amsterdam: Elsevier, 1998
- [Warn97] Warnecke, H.-J. (1997): Agilität und Komplexität – Gedanken zur Zukunft produzierender Unternehmen. In: Schuh, G./Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse?. Berlin: Springer Verlag, 1997, S. 1-10
- [Webe95] Weber, J. (1995): Logistik – Controlling: Leistungen, Prozesskosten, Kennzahlen. 4., überarbeitete Auflage. Stuttgart: Schäffer- Poeschel, 1995
- [Webe97] Weber, J. (1997): Prozessorientiertes Controlling. Vallendar: WHU Koblenz, 1997 (Advanced Controlling; Band 1)
- [Webe06a] Weber, M. (2006): Schnelleinstieg Kennzahlen. München: Haufe, 2006.
- [Webe06b] Weber, J.; Radtke, B.; Schäffer, U. (2006): Erfahrungen mit der Balanced Scorecard Revisited. Weinheim: WILEY- VCH Verlag, 2006 (Advanced Controlling; Band 50)

- [Webe98] Weber, J; Schäffer, U. (1998): Balanced Scorecard. Vallendar: WHU Koblenz, 1998 (Advanced Controlling; Band 21)
- [Wemh05] Wemhöner, N. (2005): Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. Aachen, Technische Hochschule, Dissertation, 2005
- [West97] Westkämper, E. (1997): Produktion in Netzwerken. In: Schuh, G.; Wiendahl, H.-P. (Hrsg.): Komplexität und Agilität – Steckt die Produktion in der Sackgasse? Berlin: Springer Verlag, 1997, S. 275-291
- [West05] Westkämper, E.; Roscher, J. (2005): Bewertung flexibler Endmontagesysteme für die Automobilindustrie durch Simulation des Realbetriebs. In: wt Werkstattstechnik online, 4-2005, S. 181-185
- [West06a] Westkämper, E. (2006): Zukunfts- und Standortsicherung mit Hilfe der Digitalen Fabrik. 3. Fachkongress digitale Fabrik. 23-24.05.2006, Ludwigsburg
- [West06b] Westkämper, E.; Decker, M.; Jendoubi, L. (2006): Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin; Heidelberg: Springer Verlag, 2006
- [Weye01] Weyerke, M. (2001): Entwicklung eines rechnergestützten, benutzerorientierten Systems zur Informationsgewinnung in Produktionsunternehmen. Düsseldorf: VDI Verlag, 2001
- [Wien99] Wiendahl, H.-P. (1999): Bausteine der Wandlungsfähigkeit zur Planung wettbewerbsfähiger Fabrikstrukturen. Vortragsskript zur 2. deutschen Fachkonferenz Fabrikplanung. Hannover: Universität Hannover, Institut für Fabrikanlagen, 1999
- [Wien96] Wiendahl, H.-P. (1996): Grundlagen der Fabrikplanung. In: Eversheim, W./ Schuh, G. (Hrsg.): Produktion und Management. Teil 2., 7. völlig neu bearbeitete Auflage, Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1996, S.9-1-9-31
- [Wien01] Wiendahl, H.-P. (2001): Wandlungsfähige Fabriken: Eckpfeiler für den Standort Deutschland. In: wt Werkstattstechnik online, 11-2001, S. 723-724
- [Wien05] Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J.H./Breitenbach, F. (2005): Planung modularer Fabriken: Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Carl Hanser Verlag, 2005
- [Wild97] Wildemann, H. (1997): Produktionscontrolling: Systemorientiertes Controlling schlanker Produktionsstrukturen. 3. Auflage. München: TCW Transfer – Centrum, 1997
- [Wild04] Wildemann, H. (2004): Monitoring von Geschäftsprozessen. In: VDI- Zeitung. Düsseldorf 146 (2004) 10. – S. 80-83
- [Wuns05] Wunsch, M. (2005): Produkt- und Betriebsmittelstandardisierung im Karosseriebau. In: Exposeesammlung der 31. Fachtagung Prozesskette Karosseriebau. Bad Nauheim, 2005



## Internetquellen

- [Berg02] Roland Berger Strategy Consultants, Leinfelden, Juli 2002  
<http://www.rolandberger.com/expertise/en/html/publications/82-publications.html>
- [Booz06] Booz Allen Hamilton Strategy Consultants, München, Oktober 2006  
<http://presseportal.de/story.htx?firmaid=44015>
- [Köth03] Köth, C.-P.: Die Branche vor der nächsten Revolution. 18.Juli 2003.  
<http://www.automobilindustrie.de/fachartikel/aifachartikel475276.html>

## Normen

- [VDI3633] VDI-Richtlinie 3633 (1993): Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. Blatt 1, Düsseldorf: VDI-Verlag, 1993
- [VDI5500] VDI- Richtlinie 5500 (1996-07): System zur Zukunftssicherung: Total Quality Management (TQM). Düsseldorf: VDI-Verlag, 1996

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Verkürzung des Produktentstehungsprozesses (PEP) bei steigender Variantenzahl [Köni04].....	1
Abbildung 2: Verkürzung des Produktentstehungsprozesses durch den Einsatz der virtuellen Techniken und der Leistungsmessung.....	2
Abbildung 3: Einsatz von Fügeverfahren im Karosseriebau (unter Verwendung von [Köni04]) .....	4
Abbildung 4: Kostenstruktur im Karosseriebau.....	5
Abbildung 5: Die Aufgaben der Grobplanung [Rock78].....	7
Abbildung 6: Auserwählte Schwerpunkte für notwendige Potenzialerschließungen im Karosseriebau .....	8
Abbildung 7: Werkstoffeinsatz in modernen Karossen am Beispiel des neuen 6er BMW [Senf05] .....	10
Abbildung 8: Entwicklung der Schweißpunktmenge am Beispiel des Audi A4 [Köni04] .....	10
Abbildung 9: Gegenüberstellung der Personalstunden pro Karosse [Harb06] .....	13
Abbildung 10: Das CIM-Modell nach Scheer [Sche90].....	17
Abbildung 11: Nutzenpotentiale der Digitalen Fabrik ([Mala05]; [Berg02]) .....	18
Abbildung 12: Gesamtkonzept der OVF [Klau02].....	19
Abbildung 13: Die Digitale Fabrik im Planungsprozess [Kalu06] .....	20
Abbildung 14: Entwicklung der industriellen Produktion [West06] .....	21
Abbildung 15: Einsatzfelder des Virtuellen Karosseriebaus [Mala06].....	22
Abbildung 16: Machbarkeitsuntersuchungen im Virtuellen Karosseriebau [Mala06] .....	23
Abbildung 17: Vergleich ausgewählter Performance Measurement- Konzepte (in Anlehnung an [Glei01]).....	32
Abbildung 18: Ausgewählte Berichte des Virtuellen Karosseriebaus.....	37
Abbildung 19: Aufbau der Arbeit (unter Verwendung von [Ulri01]) .....	41
Abbildung 20: Fünf-Sichten-Architektur des ARIS-Hauses [Sche02].....	44
Abbildung 21: Datenbedarf der Leistungsmessung (unter Verwendung von [VDI3633]) .....	45
Abbildung 22: Hierarchische Zuordnung des Karosseriebaus nach [Wien96] .....	47
Abbildung 23: In- und Output Darstellung der Prozesselemente .....	49
Abbildung 24: Leistungsmodell für den Karosseriebau.....	51
Abbildung 25: Gegenüberstellung Prozesseigenschaften und Kundenanforderungen .....	52
Abbildung 26: Regelkreis der Leistungsmessung (unter Verwendung von [Schm06]) .....	53
Abbildung 27: Einflussmatrix der strategischen Erfolgsfaktoren (die Berechnungsformeln der SEF sind im Anhang dargestellt) .....	59
Abbildung 28: Portfolio zur Auswertung der Einflussmatrix .....	60
Abbildung 29: Zusammenhänge der Kennzahlen im erstellten Ordnungssystem.....	61
Abbildung 30: Finanz-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6).....	64

Abbildung 31: Vollkostenberechnung einer Schweißgruppe [Korl06] .....	65
Abbildung 32: Kosten – Durchlaufzeit – Diagramm am Beispiel einer Anlage im Karosseriebau .....	66
Abbildung 33: Prozess-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6).....	67
Abbildung 34: Potential-Kennzahlen (Berechnungsformeln siehe Anlage 6).....	73
Abbildung 35: COP-Strategie im Renault-Nissan Konzern im Kleinwagensegment [Thib05].....	75
Abbildung 36: Der Aufbau eines Greifers aus standardisierten Komponenten (3D Konstruktion und realer Einsatz) [Wuns05].....	76
Abbildung 37: Aufteilung der Kosten einer Karosse (€/E) nach Fertigungsbereich ..	77
Abbildung 38: Vergleich der Verbindungsäquivalente im B-Segment.....	79
Abbildung 39: Werkerreduzierung bei Taktzeitverlängerung U-förmiger Anlagen ....	84
Abbildung 40: Kostenreduzierung bei Aufgabenumverteilung .....	84
Abbildung 41: Konzepte für produktflexible Vorrichtungen [Wuns05] .....	85
Abbildung 42: Inhalte der Meilensteine der Grobplanungsphase (Darstellung [CARL07]).....	87
Abbildung 43: Kennzahlenbedarf über die Phasen der Grobplanung.....	88
Abbildung 44: Erweiterung des Monitorregelkreises der Fertigung um die Schnittstelle zur Planung (unter Verwendung von [Wien96]).....	90
Tabelle 8: Zielkorridore der Hauptkennzahlen des Karosseriebaus am Beispiel der Schweißgruppe „Boden Hinten“ .....	91
Abbildung 45: Potentiale eines projektbegleitenden Berichtssystems .....	92
Abbildung 46: Beeinflussbarkeit von Ausgaben in der Fabrikplanung [Kola05] .....	93
Abbildung 47: Der Leistungsbericht für den Planer .....	96
Abbildung 48: Der Leistungsbericht für die Management – Ebene.....	98
Abbildung 49: Integration des LMS in den Planungsprozess.....	99
Abbildung 50: Managementbericht bei -34 Monaten vor SOP.....	101
Abbildung 51: Managementbericht bei -32 Monate vor SOP: Verbesserung der Flexibilität.....	102
Abbildung 52: Kostenverlauf des Beispiel – Projekts in der Grobplanungsphase...	103
Abbildung 53: Schwachstellenanalyse am Beispiel der WerkerAuslastung im Untersuchungsbereich.....	104
Abbildung 54: Schwachstellenanalyse am Beispiel des Technologieeinsatzes.....	106
Abbildung 55: Darstellung der Ressourcenauslastung der Schutzkreise bei verschiedenen Derivaten .....	108
Abbildung 56: Übersicht der vom LMS aufgezeigten Schwachstellen .....	109

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Abwicklungsschritte des Produktentstehungsprozesses ([Wien96]; [Koch99]) .....	6
Tabelle 2: Forderungen an die Bildung und Auswahl von Kennzahlen (Unter Verwendung von [Webe06a]; [Wagn06]; [Lasc05]; [Glei01]) .....	26
Tabelle 3: Defizite klassischer Kennzahlensysteme (unter Verwendung von [Günt06]) .....	29
Tabelle 4: Gegenüberstellung Traditionelle Kennzahlensysteme und Leistungsmesssysteme (unter Verwendung von [Klin01a]) .....	31
Tabelle 5: Ressourcentreiber der Kostenblöcke: Anlage, Personal, Fläche .....	50
Tabelle 6: Ansätze zur Kennzahlenstrukturierung .....	57
Tabelle 7: Kostenarten im Karosseriebau (Vollkostenbetrachtung) .....	62